

Reiner Almstedt

Entwicklungsphysiologische Besonderheiten des Frühjahrsgeophyten
Allium ursinum L. und die daraus resultierenden Konsequenzen
bei der Überführung in den nachhaltigen, feldmäßigen Anbau

Entwicklungsphysiologische Besonderheiten des Frühjahrsgeophyten

Allium ursinum L. und die daraus resultierenden Konsequenzen

bei der Überführung in den nachhaltigen, feldmäßigen Anbau

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften

(Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am 21.12.2010

von

Dipl.-Ing. agr. Reiner Almstedt

aus

Bonn

Referent: Prof. Dr. R. Pude

Koreferent: Prof. Dr. G. Noga

Tag der mündlichen Prüfung: 21.04.2011

Erscheinungsjahr: 2011

Entwicklungsphysiologische Besonderheiten des Frühljahrsgeophyten
Allium ursinum L. und die daraus resultierenden Konsequenzen bei der
Überführung in den nachhaltigen, feldmäßigen Anbau

In den Jahren 2006 – 2008 wurde in einem durch die Firma Iglo Deutschland GmbH finanzierten Drittmittelprojekt die Möglichkeit einer Inkulturnahme von Bärlauch (*Allium ursinum* L.) geprüft. Für die Firma Iglo ist die nachhaltige Produktion der von ihnen verarbeiteten Lebensmittel essentiell, so dass Iglo auch für Bärlauch ein Konzept zur nachhaltigen Nutzung der Pflanzen benötigt, um aus Gründen der Lebensmittelsicherheit und Nachverfolgbarkeit der Produkte eine Alternative zu den bisher praxisüblichen Wildsammlungen in den Wäldern Europas zu entwickeln. Vor diesem Hintergrund war es das Ziel der Arbeit, ein nachhaltiges Anbau- und Nutzungskonzept zu entwickeln, welches sich nach den speziellen Bedürfnissen und Besonderheiten des Frühljahrsgeophyten richtet.

1. **Untersuchungen an einem repräsentativen Wildstandort** in der Eifel brachten bedeutsame, grundlegende Erkenntnisse zur Pflanzenentwicklung unter Berücksichtigung wichtiger standortrelevanter Faktoren. So führten schon geringfügige Änderungen der Einstrahlungsverhältnisse zu Veränderungen in der N- und Kohlenhydrat-Akkumulation verschiedener Entwicklungsstufen bei Bärlauch-Pflanzen.

2. Bei der **Vermehrung** sowohl über Samen als auch über Tochterzwiebelbildung konnten durch angepasste Stratifikationsmaßnahmen die Dormanzphasen wesentlich verkürzt werden. Bei den Samen brachten etablierte Methoden zur Erhöhung/Beschleunigung der Keimung keine nennenswerten Erfolge. Bei der vegetativen Vermehrung konnte nicht nur die Dormanzphase verkürzt werden, zusätzlich bewirkte der vor der endogenen Ruhe der Zwiebeln gesetzte Kältereiz eine signifikante Erhöhung der vegetativen Vermehrungsrate.

3. Eine **N-Düngung** in Höhe des kalkulierten Pflanzenentzugs, generierte den höchsten Ertrag in Form der Blattfrischmasse. Eine weitere Steigerung der N-Zufuhr zeigte keine signifikante Ertragssteigerung. Die über den Entzug mit N versorgten Pflanzen wiesen eine verspätete Abreife der Zwiebeln auf, was sich in einem verlangsamten Anstieg der Fructangehalte in der Zwiebel widerspiegelte.

4. Eine gezielte **Verringerung der Globalstrahlung** am Kulturstandort führte zu einer signifikanten Ertragssteigerung. Die Zwiebeltrockenmasse sowie die in ihr gespeicherten Reservestoffe reagierten hingegen mit einer Substanzabnahme auf eine zunehmende Beschattung.

5. Das **Beernten** aller Blätter einer Pflanze in einer definierten Schnitthöhe von $\frac{3}{4}$ des Blattes führte zu keinerlei Schädigung oder Beeinträchtigung der Pflanze in Bezug auf ihr Abreifeverhalten und den nächstjährigen Wiederaustrieb. Somit stellt diese Beerntungsmethode den besten Kompromiss in Hinblick auf eine nachhaltige Anbauweise bei gleichzeitig höchstmöglichem Ertrag dar.

Von der Saatgut-Bereitstellung mit einer Keimfähigkeit von bis zu 80 % und einer Steigerung der vegetativen Vermehrungsrate von 26 % ist es möglich, in kurzer Zeit einen stabilen Pflanzenbestand zu etablieren. Als wichtigste Kulturmaßnahmen tragen eine gezielte Düngung sowie eine Reduzierung der auf die Pflanze eintreffenden Lichtintensität zu einer teils erheblichen Ertragssteigerung bei. Das neu entwickelte Erntesystem schont die Pflanzen und verspricht somit eine nachhaltige, mehrjährige Nutzung bei gleichzeitig höchstmöglichen Erträgen.

Mit der vorliegenden Arbeit wurde das Ziel realisiert, erste wichtige Erkenntnisse für den mehrjährigen, kulturmäßigen Anbau von Bärlauch zu erarbeiten, um von den ökologisch und lebensmittelhygienisch problematischen Wildsammlungen Abstand zu nehmen.

Physiological development characteristics of the spring geophyte *Allium ursinum* L. and the resulting consequences for a conversion into sustainable field cultivation

From 2006 to 2008 the possibility of a domestication of wild garlic (*Allium ursinum* L.) was tested within the context of a project funded by a third party, the Iglo Germany GmbH. Given the fact that for the company Iglo a sustainable production of their processed food is essential, they were interested in a plan for a sustainable use of wild garlic as an alternative to the common practice of wild collection in the woods across Europe in order to assure food safety and traceability of their products.

In this respect it was the aim of this study to develop a sustainable cultivation and utilization concept which follows the specific needs and characteristics of the spring geophyte.

1. **Studies in a typical native habitat** in the Eifel brought important fundamental insights to the plant development considering essential location-related factors. It appeared that minimal changes in the irradiation conditions already lead to alterations in N and carbohydrate accumulation in the wild garlic plants of different developmental stages.

2. In the **propagation** by seeds as well as by daughter bulb formation the time of dormancy could be shortened by customized stratification schemes.

In the seeds established methods for the increase/acceleration of the germination did not cause significant results. In the vegetative propagation not only the duration of the stage of dormancy could be shortened, but also the rate of vegetative propagation was increased by the cold temperature stimulus which was set prior to the endogenous rest of the bulb.

3. An **N fertilization** in the amount of the calculated plant withdrawal generated the highest yield in form of the leaf fresh weight. A further increase in N supply did not bring any significant yield enhancement. The excessively N fertilized plants reacted with a later ripening of the bulbs, which was reflected in a slower fructan increase in the bulbs.

4. A specific **reduction of the global radiation** at the agricultural site lead to a significant yield increase. The bulb dry matter as well as the stored reserve carbohydrates within the bulb reacted with a decrease of substance to an increasing shading.

5. The **harvesting** of all leaves of a plant in a defined cutting height of $\frac{3}{4}$ of the leaf did not lead to any damage or deterioration of the plant in relation to its ripening behaviour and its next year's growth.

Thus, this harvesting method presents the best compromise with regard to a sustainable way of cultivation and at the same time the highest possible yield.

Due to a seeds supply with a germination capacity of up to 80% and an increase in the vegetative propagation rate of 26% it is possible to establish a stable plant population in a short time.

As the most important cultural activities a specific fertilization and a reduction of the radiation in the plant lead to a considerable increase in yield.

The newly developed harvesting system preserves the plants and therefore promises a sustainable, perennial use with highest possible yields.

With this study the aim was accomplished to work on first important insights for the perennial cultivation of wild garlic in order to find a sustainable alternative to wild collections which are problematic from an ecological and food hygiene point of view.

Gliederung

1. EINLEITUNG	1
2. LITERATURÜBERSICHT	4
<u>2.1 Taxonomie</u>	4
<u>2.2 Morphologie und Physiologie</u>	4
2.2.1 Pflanzenhabitus und Entwicklungsstadien	4
2.2.2 Vermehrung	7
2.2.2.1 Generative Vermehrung	8
2.2.2.2 Vegetative Vermehrung	11
<u>2.3 Standortansprüche</u>	13
2.3.1 Boden	14
2.3.2 Nährstoffe	15
2.3.3 Klima	16
2.3.4 Licht	16
<u>2.4 Inhaltsstoffe</u>	19
<u>2.5 Verwendung und Marktpotential</u>	23
<u>2.6 Arbeitshypothesen</u>	26
3. ALLGEMEINE METHODEN	27
<u>3.1 Bestimmung der Frisch- und Trockenmasse</u>	27
<u>3.2 Bestimmung der Blattfläche</u>	27
<u>3.3 Nicht-invasive Chlorophyllmessung (SPAD – Messung)</u>	28
<u>3.4 Nicht-invasive Lab-Farbmessung</u>	28
<u>3.5 Bestimmung der nichtstrukturellen, wasserlöslichen Kohlenhydrate</u>	29
3.5.1 Aufbereitung der Proben	29
3.5.2 Aufschluss der Mono- und Disaccharide	30
3.5.3 Fructanaufschluss	30
3.5.4 Aufbau und Wirkungsweise der HPLC	31
<u>3.6. Bestimmung der stickstoffhaltigen Verbindungen</u>	33
<u>3.7 Statistische Auswertung</u>	33
4. ANLAGE, ERGEBNISSE UND DISKUSSIONEN DER VERSUCHE	34
<u>4.1 Grundlegende Erkenntnisse aus Untersuchungen am Wildstandort Schloßtal</u>	34
4.1.1 MATERIAL und METHODEN	34
4.1.1.1 Standortbeschreibung	35
4.1.1.2 Versuchsdauer und -durchführung	37
4.1.1.3 Entwicklungsstadien der <i>Allium ursinum</i> Bestände	39
4.1.2 ERGEBNISSE	41
4.1.2.1 Bodennah einwirkende PAR in den Versuchspartzen	41
4.1.2.2 Zunahme der Trockenmasse der Überdauerungsorgane bei erhöhter Lichteinstrahlung	42
4.1.2.3 Stickstoffdynamik in Blättern und Zwiebel während der Seneszenzphase	43
4.1.2.4 Zusammensetzung und Veränderung der Kohlenhydrate in der Pflanze	44
4.1.3 DISKUSSION	54
<u>4.2 Erzeugung von Saat- und Pflanzgut</u>	59
4.2.1 MATERIAL und METHODEN	60
4.2.1.1 Generative Vermehrung	60
4.2.1.1.1 Stimulierung der Keimung durch Saatgutvorbehandlung und Stratifikation	62
4.2.1.1.2 Pflanzenbonitur und Datenerhebung	63
4.2.1.2 Vegetative Vermehrung	64
4.2.1.2.1 Stratifikationsverfahren zur Erhöhung der vegetativen Vermehrungsrate	64
4.2.1.2.2 Versuchsauswertung	65
4.2.2 ERGEBNISSE	66

4.2.2.1	Generative Vermehrung	66
4.2.2.1.1	Einfluss der Saatgutvorbehandlungen auf die Keimrate und den Befall mit pilzlichen Pathogenen	66
4.2.2.1.2	Einfluss der Stratifikationsdauer auf die Keimgeschwindigkeit und die Endkeimrate	67
4.2.2.2	Vegetative Vermehrung	68
4.2.2.2.1	Einfluss der Stratifikationsdauer auf den Zeitpunkt des Austriebs	68
4.2.2.2.2	Erhöhung der vegetativen Vermehrungsrate durch Stratifikation	70
4.2.3	DISKUSSION	72
4.3	<u>Gefäßversuch zur Ertragsoptimierung durch Düngungsmaßnahmen</u>	76
4.3.1	MATERIAL und METHODEN	76
4.3.1.1	Einfluss einer Stickstoffsteigerung auf Ertragsparameter	76
4.3.1.1.1	Versuchsaufbau	76
4.3.1.2	Einfluss einer Stickstoffsteigerung auf Ertragsparameter bei N-Düngung vs. Mehrnährstoffdünger	77
4.3.1.2.1	Versuchsaufbau	77
4.3.2	ERGEBNISSE	78
4.3.2.1	Ertragszuwachs durch N-Steigerung	78
4.3.2.1.1	Einfluss auf die ober- und unterirdischen Ertragsparameter	78
4.3.2.1.2	Einfluss auf die Entwicklung der Überdauerungsorgane	79
4.3.2.1.3	Auswirkung auf den Reservestoffhaushalt der Zwiebeln	80
4.3.2.2	Einfluss einer Stickstoffsteigerung auf Ertragsparameter bei N-Düngung vs. Mehrnährstoffdünger	81
4.3.2.2.1	Einfluss auf den Ertrag der ober- und unterirdischen Biomasse	81
4.3.2.2.2	Auswirkungen auf den Reservestoffhaushalt	84
4.3.2.2.3	Einfluss auf die optische Qualität der Blätter	86
4.3.3	DISKUSSION	87
4.4	<u>Regulierung der Lichtintensität am Kulturstandort</u>	93
4.4.1	MATERIAL und METHODEN	93
4.4.1.1	Beschattung der Versuchspartzellen am Standort Wesseling	93
4.4.1.1.1	Versuchsstandort	93
4.4.1.1.2	Kulturführung	94
4.4.1.1.3	Versuchsaufbau	95
4.4.1.1.4	Datenerhebung	97
4.4.1.2	Abdeckung der Freilandpartzellen mit praxisüblichen Abdeckungsmaterialien am Standort Reken	98
4.4.1.2.1	Versuchsstandort Reken	98
4.4.1.2.2	Kulturführung	98
4.4.1.2.3	Versuchsaufbau	99
4.4.1.2.4	Datenerhebung	101
4.4.2.	ERGEBNISSE	102
4.4.2.1	Standort Wesseling	102
4.4.2.1.1	Beeinflussung der Standortfaktoren durch die Beschattungsnetze	102
4.4.2.1.2	Pflanzen- und Ertragsentwicklung in Abhängigkeit der Einstrahlung	104
4.4.2.1.3	Beeinflussung der optischen Qualität der Pflanzen	109
4.4.2.1.4	Einfluss der veränderten Einstrahlung auf den Reservestoffhaushalt	111
4.4.2.2	Standort Reken	113
4.4.2.2.1	Beeinflussung der Standortfaktoren durch die Vliese	113

4.4.2.2	Pflanzen- und Ertragsentwicklung in Abhängigkeit der Einstrahlung	114
4.4.2.3	Beeinflussung der optischen Qualität der Blätter	117
4.4.3	DISKUSSION	119
4.4.3.1	Einfluss der Regulierung der Lichtintensität auf Morphologie und Physiologie der Bärlauchpflanze am Standort Wesseling	119
4.4.3.2	Einfluss der Abdeckung der Freilandparzellen mit praxisüblichen Abdeckungsmaterialien	124
4.5	<u>Gewächshausversuch zur Bestimmung des optimalen Beerntungsgrades</u>	127
4.5.1	MATERIAL und METHODEN	127
4.5.1.1	Versuchsaufbau im Gewächshaus	127
4.5.1.2	Bestimmung des Ernteertrages und des Wiederaustriebs- verhaltens in Abhängigkeit des Beerntungsgrades	130
4.5.2	ERGEBNISSE	131
4.5.2.1	Ernteerträge in Abhängigkeit des Beerntungsgrades	131
4.5.2.2	Einlagerung der Reservestoffe in die Zwiebeln	132
4.5.2.3	Wiederaustriebsverhalten im Nacherntejahr	137
4.5.3	DISKUSSION	138
5.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	141

Abkürzungsverzeichnis

A-Achse	Farbskala der Grün- bis Rottöne (Minolta Fotospectrometer)
Abb.	Abbildung
A _h -Horizont	Bodenhorizont (Humusaufgabe)
ASP	Actual Seed Productivity
b-Achse	Farbskala der Blau- bis Gelbtöne (Minolta Fotospectrometer)
BRD	Bundesrepublik Deutschland
bzw.	beziehungsweise
ß (1-2) Bindung	glycosidische Bindung
°C	Grad Celsius
C-Atom	Kohlenstoff-Atom
ca.	Circa
Ca ²⁺	zweifach positives Calcium
CaCl ₂	Calciumchlorid
CAL-Extraktion	Calcium-Acetat-Lactat-Extraktion
(CH ₂ O) _n	Grundformel Kohlenhydrate
CIE-Norm	Commission internationale de l'éclairage- Normfarbsystem
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
c.p.	ceteris paribus
D-Form	Stereoisomer, dreht polarisiertes Licht im Uhrzeigersinn
d.h.	das heißt
DMSO	Dimethyl Sulfoxide
DP	Degree of Polymerisation
DVO	Düngungsverordnung
EC-Wert	electric conductivity-Wert
ELV-Logger	Datenlogger für Temperatur und rel. Luftfeuchte
engl.	englisch
et al.	et alii
etc.	et cetera
Eurocent/Stck.	Eurocent pro Stück
€/kg	Euro pro kg
Fa	Firma
F	Fructose
FM	Frischmasse
FM/Blatt	Frischmasse pro Blatt
FFT	Fructan-Fructan-Fructosyltransferase
g	Gramm
g/m ²	Gramm pro Quadratmeter
GA ₃	Gibberelinsäure
GACP	Good Agricultural and Collection Practices
GF	Verbindung zwischen Glucose +Fructose
G(F) _(n)	Glucose + n mal Fructose
G(F) _(n-1)	Glucose + (n-1) mal Fructose
G(F) _(m)	Glucose + m mal Fructose
G(F) _(m-1)	Glucose + (m-1) mal Fructose
GFF	Verbindung zwischen Glucose + Fructose + Fructose
HPLC	High Pressure Liquid Chromatographie
HSG.	Herausgeber
H ₂ O	Wasser
i.d.	in der
ISTA	International Seed Testing Association
INRES	Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz
kg	Kilogramm
kg N/ha	Kilogramm Stickstoff pro Hektar
K ₂ O	Kaliumoxid
KNO ₃	Kaliumnitrat
K-Strategie	geringe Reproduktionsrate
L.	Linne
L x B x H	Länge mal Breite mal Höhe (= Volumen)
L-Form	Stereoisomer, dreht polarisiertes Licht gegen den Uhrzeigersinn
LFS	Lehr- und Forschungsstation
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
l/ha	Liter pro Hektar
l/m ²	Liter pro Quadratmeter
L-Wert	gibt die Helligkeit eines Objektes an (Minolta Fotospectrometer)
m	Meter
m ²	Quadratmeter
Mg	Magnesium

mg/g	Milligramm pro Gramm
MgO	Magnesiumoxid
min	Minute
ml/min	Milliliter pro Minute
Mol	chemische Stoffmenge
MW	Mittelwert
n	Stichprobenanzahl
N	Stickstoff
N ₂	elementarer Stickstoff
NH ₄ ⁺ -N	Ammonium-N
nm	Nanometer
N _{min}	mineralisierter Stickstoff
NN	Normal Null
NO ₃ ⁻ -N	Nitrat-N
NO _x	Stickoxide
o.ä.	oder ähnliches
PAR	Photosynthetic Active Radiation
PE-Beutel	Polyethylen-Beutel
Pfl./ha	Pflanzen pro Hektar
PH 55 open	Beschattungsnetz mit 55 % Beschattungsleistung
PH 77 open	Beschattungsnetz mit 77 % Beschattungsleistung
PH 88 open	Beschattungsnetz mit 88 % Beschattungsleistung
P ₂ O ₅	Phosphat
pH	potentia Hydrogenii
R ²	Bestimmtheitsmaß
r-Strategie	hohe Reproduktionsrate
Samen/m ²	Samen pro Quadratmeter
SAS 9.1	Statistikprogramm
S1	Standort S1 (Entnahme von Pflanzen zur Analyse)
S2	Standort S2 (weniger dichter Baumbewuchs)
S3	Standort S3 (dichter Baumbewuchs)
S4	Standort S4 (Referenzmessstele)
SD	Standardabweichung
SPAD	Soil Plant Analysis Development
spp.	subspecies
SST	Sacharose-Sacharose-Fructosyltransferase
t/a	Tonnen pro Jahr
t/ha	Tonnen pro Hektar
TGU	Firma TGU, Hersteller der Beschattungsnetze
TKM	Tausendkornmasse
TM	Trockenmasse
TTC-Test	2,3,5-Triphenyl-tetrazoliumchlorid Test
u.a.	unter anderem
U/min	Umdrehungen/min
US \$	Dollar (United States)
UV-A	ultraviolettes Licht (Wellenlänge 380 – 320 nm)
UV-B	ultraviolettes Licht (Wellenlänge 320 – 280 nm)
UV-Strahlung	ultraviolette Strahlung
u.v.m.	und viele mehr
µm	Mikrometer
v. Chr.	vor Christus
vgl.	vergleiche
WHO	World Health Organisation
WSC	Water Soluble Carbohydrates
z.B.	zum Beispiel
Z-Saatgut	zertifiziertes Saatgut

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen:

Abb. 1: Pflanzenentwicklungsstadien des Bärlauchs (von links): Juvenilstadium, Subadultstadium, Adultstadium, Adultstadium mit drittem Laubblatt (Befähigung zur veg. Vermehrung).

Abb. 2: Lebenszyklus von *Allium ursinum* L. (vereinfacht dargestellt).

Abb. 3: Vergleich eines bifacialen Blattes mit einem invers bifacialen Blatt (aus: Strasburger (2008), Lehrbuch der Botanik).

Abb. 4: Positiv wirkende, anthropogene Einflüsse auf *Allium ursinum* und dessen Verbreitung am natürlichen Standort (verändert nach BÖHLING, 2003).

Abb. 5: Lichtschwächung im Mischwald; aus: Nachtigall, W. (1985): Unbekannte Umwelt, Heyne Verlag München.

Abb. 6: Nettophotosyntheserate versch. Pflanzengruppen in Abhängigkeit der auf die Pflanze einwirkenden PAR; aus: LARCHER, W. (1995): Physiological plant ecology. Plants under stress. Springer. Austria.

Abb. 7: Verknüpfung von zwei Saccharosemolekülen durch SST und die daraus resultierenden drei verschiedenen Bindungsmöglichkeiten. Aus: <http://4e.plantphys.net/article.php?ch=8&id=341> (11.03.2009).

Abb. 8: Lab-Farbraum dreidimensional; Lab-Diagramm ohne L-Achse.
www.Konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf.

Abb. 9: Einzelne Komponenten der HPLC-Anlage im Institut INRES - Gartenbauwissenschaft der Universität Bonn.

Abb. 10: *Allium*-Bestände unterschiedlicher Entwicklungsstadien am Standort S1 in chronologischer Reihenfolge am 15.04 (A), 21.05 (B), 04.06 (C), 11.06 (D), 17.06 (E) und 04.07. 2006 (F). Zu jedem Termin sind die Blüten separat in einem rechts oben angeordneten Teilbild dargestellt, (KLINKHAMMER, 2007).

Abb. 11: Zeitlicher Verlauf der bodennah einwirkenden PAR (in Relation zur Referenzmessung auf einer freien, unbeschatteten Lichtung = 100 %) in einem Kalkbuchenwald nahe der Ortschaft Schloßthal mit bärlauchreichen Standorten unterschiedlicher Baumdichte (S2) und (S3) in 2006. Gemessen wird die PAR zum Entwicklungsstadium der noch geschlossenen Blüten (12. Mai), der Befruchtung (09. Juni) und der Samenreife (03. Juli), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Abb. 12: Zeitliche Veränderung der Trockenmasse in einer durchschnittlichen Zwiebel und einem durchschnittlichen Blatt von zweiblättrigem *Allium ursinum* in einem Kalkbuchenwald nahe der Ortschaft Schloßthal mit bärlauchreichen Standorten unterschiedlicher Baumdichte (S2) und (S3) zum Entwicklungsstadium der noch geschlossenen Blüten (12. Mai), der Befruchtung (09. Juni) und der Samenreife (03. Juli) in 2006, (verändert nach KLINKHAMMER, 2007). SD = Standardabweichung.

Abb. 13: Stickstoffgehalt in der Blatt- und Zwiebeltrockenmasse der verschiedenen Altersstufen des *Allium ursinum* zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni) und Samenreife (04. Juli) am Standort Schloßthal in 2006. Signifikanzen (n.s.) innerhalb der Pflanzenentwicklungsstufen und zwischen den Terminen geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Abb. 14: Veränderung des Gehaltes stickstoffhaltiger Verbindungen (N) im durchschnittlichen Blatt und in der durchschnittlichen Zwiebel (über die Altersstufen gemittelt) von *Allium ursinum* über den Zeitraum der Seneszenz vom Entwicklungsstadium der Vollblüte (04. Juni) bis zur Samenreife (04. Juli) am Standort Schloßthal in 2006; SD = Standardabweichung, (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Abb. 15: Glucose-, Fructose- und Saccharosegehalte der Blatttrockenmasse der verschiedenen Altersstufen des *Allium ursinum* zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni) und Samenreife (04. Juli) in 2006. Signifikanzen (A – D) geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$) für die einzelnen Kohlenhydrate je Altersstufe zwischen den Terminen; Signifikanzen (a – c) innerhalb der einzelnen Termine zwischen den Alterstufen geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Abb. 16: Glucose-, Fructose- und Saccharosegehalte der Blatttrockenmasse von *Allium ursinum* über die Altersstufen gemittelt zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni) und Samenreife (04. Juli) in 2006, Signifikanzen für die einzelnen Kohlenhydrate (A – D) zwischen den Terminen geprüft Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Abb. 17: Glucose-, Fructose- und Saccharosegehalte der Zwiebeltrockenmasse der verschiedenen Altersstufen (ein-, zwei- und dreiblättriger Bärlauch) von *Allium ursinum* zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni), Samenreife (04. Juli) und der Sommerruhe (27. August) in 2006; Signifikanzen

(A – D) für die einzelnen Altersstufen zwischen den Terminen sowie Signifikanzen (a – c) innerhalb der einzelnen Termine geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Abb. 18: Glucose-, Fructose- und Saccharosegehalte der Zwiebeltrockenmasse von *Allium ursinum* über die Altersstufen gemittelt zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni), Samenreife (04. Juli) und der vollständigen Seneszenz (27. August) in 2006, Signifikanz geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$): zwischen den Terminen A – E, die Buchstaben für die Glucose und Fructose müssen am 27. August „E“ für Fructose und „D“ für Glucose lauten, (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Abb. 19: Fructangehalte der Zwiebeltrockenmasse von *Allium ursinum* verschiedener Altersstufen zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni), Samenreife (04. Juli) und der Sommerruhe (27. August) in 2006, Signifikanzen (A – C) zwischen den Terminen je Altersstufe, sowie Signifikanzen (a – c) innerhalb der Termine zwischen den Altersstufen geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Abb. 20: Fructangehalte der Zwiebeltrockenmasse von *Allium ursinum* über die Altersstufen gemittelt zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni), Samenreife (04. Juli) und der Sommerruhe (27. August) in 2006. Signifikanzen (A – E) zwischen den Terminen geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Abb. 21: Veränderung des Fructangehaltes und des Gehaltes an löslichen Zuckern (Glucose, Fructose und Saccharose) des durchschnittlichen Blattes (B) und der durchschnittlichen Zwiebel (Z) von *Allium ursinum* über den Messzeitraum vom Entwicklungsstadium der Vollblüte (04. Juni) bis zur Sommerruhe (27. August) in 2006. SD = Standardabweichung, (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Abb. 22: Methodischer Aufbau der Stratifikationsvariationen im Keimungsversuch.

Abb. 23: Versuchsablaufplan zur Dormanzbrechung der Zwiebeln, Versuchsjahr 2006/2007.

Abb. 24: Keimungsverlauf der Samen von *Allium ursinum* (2006) in Abhängigkeit der unterschiedlichen Saatgutvorbehandlungen im Mittel aller Stratifikationsdauern bei 20 °C. Signifikanzen (n. s.) für die Endkeimraten nach 60 Tagen zwischen den einzelnen Saatgutvorbehandlungen nach Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach DIESENBACHER, 2007).

Abb. 25: Einfluss der Saatgutbehandlung auf den Anteil leichten, mittleren und starken Pilzbefalls von *A. ursinum*-Samen; Bonitur 14 Tage nach Überführung in Torfsubstrat bei 20 °C. Signifikanzen (a – b) innerhalb der einzelnen Befallsstärken geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach DIESENBACHER, 2007).

Abb. 26: Einfluss der Stratifikationsdauer bei 20 °C auf den anschließenden Verlauf der Keimungsrate bei 10 °C. Signifikanzen (a – c, n.s.) zwischen den Varianten an jeweils einem Termin nach Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach DIESENBACHER, 2007).

Abb. 27: Anteil der Zwiebeln [%] mit ausgetretenem Spross (noch unterirdisch) an zwei Boniturterminen. Übereinander dargestellte Balken stellen den gesamten prozentualen Austrieb dar. Boniturtermin 16. Nov. 2006 direkt nach der 120-tägigen Behandlung, 18. Dez. 2006 nach einmonatiger Lagerung bei 8 °C; SD = Standardabweichung, n = 105.

Abb. 28: Anteil der Zwiebeln [%] mit ausgetretenem Spross (noch unterirdisch) an zwei Boniturterminen als Durchschnitt aller Versuchsvarianten mit einer abschließenden kalten Stratifikation bei 4 °C. Übereinander dargestellte Balken stellen den gesamten prozentualen Austrieb dar. Boniturtermin 16. Nov. 2006 (blau) direkt nach der 120-tägigen Behandlung, 18. Dez. 2006 (rot) nach einmonatiger Lagerung bei 8 °C; SD = Standardabweichung, n = 105.

Abb. 29: Pflanzenhabitus zum Zeitpunkt kurz vor der Blüte (2008) in Abhängigkeit der Länge der Kühlphase (Beginn der Kühlphase im Juni 2007). Signifikanzen (a – b) zwischen den verschiedenen Varianten innerhalb der drei Habitus nach Bonferroni ($p \leq 0,05$); Signifikanzen zwischen den einbl. Pflanzen (n. s., nicht in der Abbildung eingetragen), n = 200.

Abb. 30: Veränderung der Blattzahl einer durchschnittl. Pflanze von 2006 zu 2007 a. d. Freilandfläche der LFS Marhof (n = 400).

Abb. 31: Vier miteinander verwachsene Zwiebeln aus einer Rodung (2008) unbehandelter Parzellenstücke der Freilandversuche.

Abb. 32: Blatt-FM eines durchschnittlichen Blattes einer Pflanze am 22.04.2008 in Abhängigkeit der Düngungsintensität mit dem N-Dünger Amnitra. Signifikanzen (a – c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 33: Blatt-TM eines durchschnittlichen Blattes einer Pflanze am 22.04.2008 in Abhängigkeit der Düngungsintensität mit dem N-Dünger Amnitra. Signifikanzen (a – c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 34: Zwiebel-TM in Abhängigkeit der Düngungsintensität mit dem N-Dünger am 23.07.2008. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 35: Fructangehalte in der Zwiebel in Abhängigkeit der Düngungsintensität mit dem N-Dünger „Amnitra“ am 23.07.2008. Signifikanzen (a – c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 36: Fructangehalt einer durchschnittlichen Zwiebel in Abhängigkeit der Düngungsintensität mit dem Dünger „Amnitra“ am 23.07.2008. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 37: Blatt-FM eines durchschnittlichen Blattes einer Pflanze am 14.05.2008 in Abhängigkeit des Düngers und der Düngermenge. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 38: Blatt-TM eines durchschnittlichen Blattes einer Pflanze am 14.05.2008 in Abhängigkeit des Düngers und der Düngermenge. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 39: Zwiebel-FM einer durchschnittlichen Pflanze am 28.07.2008 in Abhängigkeit des Düngers und der Düngermenge. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 40: Zwiebel-TM einer durchschnittlichen Pflanze am 28.07.2008 in Abhängigkeit des Düngers und der Düngermenge. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 41: Wurzel-TM einer durchschnittlichen Pflanze am 28.07.2008 in Abhängigkeit des Düngers und der Düngermenge. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 42: Fructangehalt einer durchschnittlichen Zwiebel am 28.07.2008 in Abhängigkeit der Düngermenge und Düngerart. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 43: Fructangehalt der Wurzeln am 28.07.2008 in Abhängigkeit der Düngermenge und Düngerart. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 44: WSC (Summe aus Glucose, Fructose und Saccharose) in der Zwiebel am 28.07.2008 in Abhängigkeit des Düngers und der Düngermenge. Signifikanzen (a – b) zwischen den Varianten nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 45: SPAD-Wert eines durchschnittlichen Blattes in Abhängigkeit der N-rmenge und des Düngers am 17.03.2008 und 25.03.2008. Signifikanzen (a; A) innerhalb der Termine nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 46: Blatt-FM eines durchschnittlichen Blattes einer Pflanze am 22.04.2008 in Abhängigkeit der Düngungsintensität mit dem N-Dünger „Amnitra“. R^2 = Bestimmtheitsmaß.

Abb. 47 : Klimadiagramm für das Jahr 2008 der LFS Dikopshof, ca. 2 km Luftlinie entfernt von der Lehr- und Forschungsstation Marhof in Wesseling. Aus: <http://www.uf.uni-bonn.de/Versuchsgueter/Dikopshof/de/Betrieb/Lage/index.html>.

Abb. 48: Versuchsaufbau zur Regulierung der eintreffenden Lichtintensität auf der Freilandfläche der LFS Marhof in 2006.

Abb. 49: Beschattungsnetze „PH 55 open“ und „PH 77 open“ der Firma TGU.

Abb. 50: Versuchsaufbau auf der Freilandfläche der LFS Marhof 2007.

Abb. 51: Bestandesetablierung mit Accord-Pflanzmaschine.

Abb. 52: Versuchsaufbau mit verschiedenen Abdeckungsvarianten auf dem Versuchsfeld in Reken.

Abb. 53: Versuchsaufbau am Standort Reken 2008.

Abb. 54: Lichtintensität unter verschiedenen Beschattungsmaterialien im Vergleich zur unbeschatteten Kontrolle an zwei Messterminen (30.04.2007 bewölkt; 02.05.2007 unbewölkt). Signifikanzen (a – c; A – C) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 55: Durchschnittliche Tagestemperatur in den Versuchspartellen exemplarisch dargestellt für den Zeitraum 17.05.2008 bis 22.05.2008. SD = Standardabweichung.

Abb. 56: Gravimetrische Bestimmung der Bodenfeuchte aus einer Bodentiefe 0 – 20 cm in den Versuchspartellen im Jahr 2008 durch Trocknung der Bodenproben bei 105 °C bis zur Gewichtskonstante. SD = Standardabweichung.

Abb. 57: FM der Gesamtpflanze im Jahr 2007 in Abhängigkeit der einfallenden Lichtmenge an zehn aufeinander folgenden Probenahmeterminen. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 58: Einfluss der Beschattungsvarianten auf die Fläche eines durchschnittl. Blattes einer Pflanze im Vergleich zur unbeschatteten Kontrolle am 14.05.2007. Signifikanzen (a - c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 59: Durchschnittliche Fläche eines Pflanzenblattes aus den Versuchspartzen am 25.04.2008 (optimaler Erntezeitpunkt) als MW aus allen Blättern einer Pflanze. Signifikanzen (a - b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 60: Frischmasse eines durchschnittl. Blattes in Abhängigkeit der einfallenden Lichtmenge an sechs aufeinander folgenden Probenahmeterminen in 2007. Signifikanzen (a - c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 61: Frischmasse des jeweils größten Blattes der Pflanzen aus den Kontrollpartzen und der Variante PH 77 an zehn Messterminen zwischen dem 04.05.2007 und dem 25.07.2007. Signifikanzen (a - b) zwischen den Varianten an jeweils einem Termin und Signifikanzen (A - D) jeweils innerhalb der beiden Varianten zwischen den zehn Messterminen nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 62: Trockenmasse eines durchschnittl. Blattes einer Pflanze aus den Versuchspartzen am 25.04.2008 in Abhängigkeit der Einstrahlungsmenge; Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 63: Shoot to Root Ratio am 25.04.2008 und 06.05.2008 gebildet aus der FM der oberirdischen Pflanzenteile/ FM unterirdischen Pflanzenteile in Abhängigkeit der Einstrahlungsmenge; Signifikanzen (A und a - b) jeweils innerhalb der beiden Messtermine nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 64: SPAD-Wert des durchschnittl. Blattes in Abhängigkeit der einfallenden Lichtmenge an zehn aufeinander folgenden Messterminen. Signifikanzen (a - c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 65: L-Wert des durchschnittl. Blattes in Abhängigkeit der einfallenden Einstrahlung an zehn aufeinander folgenden Messterminen. Signifikanzen (a - c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 66: TM einer durchschnittl. Zwiebel der Erntetermine 25.07.2007 und 05.08.2008 in Abhängigkeit der Einstrahlungsmenge; Signifikanzen (A und a - b) innerhalb der Messtermine nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 67: Fructangehalt in der Zwiebel in Abhängigkeit der Einstrahlungsmenge zum 05.08.2008. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 68: Fructangehalt einer durchschnittl. Zwiebel in Abhängigkeit der Einstrahlungsmenge vom 05.08.2008. Signifikanzen (a - b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 69: Temperaturverlauf vom 15.02.2008 bis zum 21.02.2008 in den Versuchspartzen jeweils um 6, 12, 18 und 24 Uhr, Standort Reken.

Abb. 70: FM der zweiblättrigen Gesamtpflanze am 02.04.2007 in Abhängigkeit der verschiedenen Abdeckungsmaterialien am Standort Reken. Signifikanzen (a - b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 71: Blattfrischmasse in Abhängigkeit der Abdeckungsmaterialien am Standort Reken am 02.04.2007. Signifikanzen (a - b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 72: Blattfrischmasse in Abhängigkeit der Abdeckungsmaterialien am Standort Reken am 15.04.2008. Signifikanzen (a - b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 73: Blatttrockenmasse in Abhängigkeit der Abdeckungsmaterialien am 15.04.2008 am Standort Reken. Signifikanzen (a - b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 74: Zwiebelfrischmasse in Abhängigkeit der Abdeckungsmaterialien am 15.04.2008 am Standort Reken. Signifikanzen (a - b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 75: Zwiebeltrockenmasse in Abhängigkeit der Abdeckungsmaterialien am 15.04.2008 am Standort Reken. Signifikanzen (a - b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 76: L-Wert der Blätter aus den verschiedenen Abdeckungsvarianten am 02.04.2007 am Standort Reken. Signifikanzen nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb.: 77: SPAD-Wert der Pflanzen in den Versuchspartzen am Standort Reken am 15.04.2008. Signifikanzen (a - b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 78: Blatt aus einer Kontrollpartze sowie aus einer mit Vlies abgedeckten Partze am 10.03.2007 am Standort Reken.

Abb. 79: Pflanzen am 02.04.2007 aus der Kontrollpartze (links) und der Vlies-Variante (34 g/m²) im Vergleich.

Abb. 80: Fünf unterschiedlich beerntete Varianten in einem Container (= Wdh.).

Abb. 81: Versuchsaufbau „Ernteversuch T2/T3“ zur Untersuchung des Einflusses der Erntetechnik auf die Pflanze und deren Entwicklung zu einem frühen (T2 = 18.03.2008) und zu einem späteren Erntetermin (T3 = 02.04.2008).

Abb. 82: Darstellung der Beerntungsgrade im Versuch.

Abb. 83: Erntefrischmasse in Abhängigkeit der Blatterntemenge am 18.04.2007. Signifikanzen (a – c) nach Bonferroni ($p \leq 0,05$).

Abb. 84: Zwiebelfrischmasse nach abgeschlossener Seneszenz der Pflanzen am 12.08.2008 in Abhängigkeit des Beerntungsgrades der Blätter. Signifikanzen (a – c) zwischen den Beerntungsgraden nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 85: Zwiebeltrockenmasse der verschiedenen, vorausgegangenen Beerntungsgraden zum frühen (Blatternte am 18.03.2008; Zwiebelernte am 29.07.2008) und späten (Blatternte am 02.04.2008; Zwiebelernte am 12.08.2008) Termin. Signifikanzen (a – b; A – C) jeweils innerhalb der Erntetermine sowie (n.s.; a – b) innerhalb der Varianten zwischen den Terminen nach Bonferroni ($p \leq 0,05$).

Abb. 86: Fructangehalt i. d. Zwiebel in Abhängigkeit der verschiedenen, vorausgegangenen Blatt-Beerntungsgrade zum frühen Erntetermin (Blatternte am 18.03.2008; Zwiebelernte am 29.07.2008) und späten (Blatternte am 02.04.2008; Zwiebelernte am 12.08.2008) Termin. Signifikanzen (a – b; A) jeweils innerhalb der Erntetermine nach Bonferroni ($p \leq 0,05$). Signifikanzen (n. s.) zwischen den Erntedaten innerhalb der Varianten nach Bonferroni ($p \leq 0,05$) nicht in der Abbildung eingetragen.

Abb. 87: Fructangehalt i. d. durchschnittl. Zwiebel der verschiedenen, vorausgegangenen Blatt-Beerntungsgrade zum frühen (Blatternte am 18.03.2008; Zwiebelernte am 29.07.2008) und späten (Blatternte am 02.04.2008; Zwiebelernte am 12.08.2008) Termin. Signifikanzen (a – c; A – B) jeweils innerhalb der Erntetermine nach Bonferroni; ($p \leq 0,05$).

Abb. 88: Fructangehalt der Zwiebeln aus der Beprobung von 2008 nach abgeschlossener Seneszenz der Pflanzen in Abhängigkeit der Beerntungsgrade der Blätter des Vorjahres. Signifikanzen (n. s.) nach Bonferroni ($p \leq 0,05$).

Abb. 89: Zwiebeltrockenmasse nach der Beerntung und anschließender, abgeschlossener Seneszenz der Pflanzen in 2007 im Vergleich zur Zwiebeltrockenmasse der ebenfalls in 2007 beernteten, aber in 2008 nicht beernteten und nach der Seneszenz beprobten Zwiebeln. Signifikanzen (n. s. und a – b) innerhalb der Erntemenge für den Vergleich der Jahre innerhalb der Varianten (A – B für 2007) und (A – C für 2008) innerhalb der Jahre zwischen den einzelnen Varianten nach Bonferroni ($p \leq 0,05$).

Abb. 90: Neu gebildete Blattfläche (als Produkt aus Blattlänge und Blattbreite) aller Blätter der einzelnen Versuchspflanzen am 27.03.2008 der bereits im Vorjahr in unterschiedlichen Schnitthöhen beernteten Pflanzen. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abb. 91: Zunahme der Anzahl der mehrblättrigen Pflanzen vom Zeitpunkt der Ernte in 2007 bis zum Wiederaustritt der Pflanzen (nach der Beerntung) in 2008 in Abhängigkeit der verschiedenen Grade der Blatternte. SD = Standardabweichung.

Tabellen:

Tab. 1: Bodenanalyse (0 – 30 cm, LUFA) des bärlauchreichen Standortes S1 sowie der Flächen S2 und S3 (Mischprobe aus S2 und S3) während des Versuchszeitraumes im Jahr 2006, (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Tab. 2: Glucose-, Fructose- und Saccharosegehalte (absolut) in [mg] eines durchschnittlichen Blattes des zweiblättrigen Bärlauchs in einem Kalkbuchenwald mit bärlauchreichen Standorten unterschiedlicher Baumdichte (S2) und (S3) zum Entwicklungsstadium der noch geschlossenen Blüten (12. Mai), der Befruchtung (09. Juni) und der Samenreife (03. Juli) im Jahr 2006 am Standort Schloßtal. Signifikanzen geprüft mit Tukey-Test ($p \leq 0,05$) bei gleichen Kohlenhydraten zwischen den Standorten je Termin (a – b) und bei gleichen Kohlenhydraten zwischen den Terminen je Standort (A – C), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Tab. 3: Glucose-, Fructose-, Saccharose- und Fructangehalte (absolut) in [mg] einer durchschnittlichen Zwiebel des zweiblättrigen Bärlauchs in einem Kalkbuchenwald mit bärlauchreichen Standorten unterschiedlicher Baumdichte (S2) und (S3) zum Entwicklungsstadium der noch geschlossenen Blüten (12. Mai), der Befruchtung (09. Juni) und der Samenreife (03. Juli) im Jahr 2006, Signifikanz geprüft mit Tukey-Test ($p \leq 0,05$): Signifikanzen geprüft mit Tukey-Test ($p \leq 0,05$) bei gleichen Kohlenhydraten zwischen den Standorten je Termin (a – b) und bei gleichen Kohlenhydraten zwischen den Terminen je Standort (A – C), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007)

Tab. 4: Nährelementgehalte im Dünger „Kristalon blau“.

Tab. 5: Die in die 2007 angelegten Versuchspartellen eintreffende Strahlung in Prozent zur unbeschatteten Kontrollpartelle.

1. EINLEITUNG

Arznei- und Gewürzpflanzen haben eine uralte Tradition in der häuslichen Anwendung bei einer Vielzahl von Beschwerden. Schon ca. 3000 v. Chr. benutzten die Bewohner zwischen Euphrat und Tigris, im heutigen Irak, Gewürze wie Safran, Kümmel und viele mehr. Ob dies wegen ihrer medizinischen oder geschmackgebenden Eigenschaften geschah, ist unklar, es bleibt jedoch zu vermuten, dass dies mehr zufällig als gewollt und vermutlich zumindest zu Beginn in Unwissenheit über deren Wirkung, eine Kombination aus beiden Beweggründen war. Ebenso entwickelte sich in Asien eine Kultur um die teils sehr wertvollen Pflanzen. Alexander der Große sorgte durch seine Feldzüge schließlich dafür, dass die exotischen Gewürze aus den fernen Ländern Einzug in die europäische Küche erhielten (SCHLAGHECKEN, 2006). Jedoch war auch schon vor seiner Zeit das Wissen um die Wirkung bestimmter, damals wie auch heute oft noch wild wachsender Pflanzen, in den einzelnen Menschenansiedlungen verbreitet und wurde mündlich von Generation zu Generation weiter gegeben. Heutzutage schätzt die WHO (2003) die in Form von „herbal products“ verkauften Waren auf einen Gesamtwert von 60.000 Millionen US\$ (Stand 2000).

Auch bei dem in dieser Arbeit untersuchten Bärlauch (*Allium ursinum* L.) handelt es sich um eine solche Pflanze, die schon in der Frühzeit der menschlichen Entwicklung den Menschen als Nahrung und somit unbewusst im weiteren Sinne auch als Gewürz- und Heilpflanze diente.

War der Bärlauch in den vergangenen Jahrzehnten in der Küche sowie in der Forschung fast in Vergessenheit geraten, erfreut er sich seit einigen Jahren wieder zunehmender Beliebtheit (RICHTER, 2004). Trat er lange Zeit hinter seinem engen Verwandten dem Knoblauch zurück, schätzen ihn die Anwender heute wegen seines „leichteren“ Geschmacks und seiner nicht so intensiven geruchlichen Ausprägung. Trotz der in den letzten Jahren immer weiter gestiegenen Nachfrage nach den Blättern des Bärlauchs, welche traditionell zum Würzen genutzt werden, wurden bislang noch keinerlei Versuche unternommen, diese interessante Pflanze in Kultur zu nehmen. Erklären lässt sich dieser Zustand vor allem damit, dass Bärlauch in großen Mengen und zu sehr günstigen Preisen aus dem osteuropäischen Ausland importiert werden kann und somit eine Inkulturnahme bisher ökonomisch nicht sinnvoll erschien. Auf der anderen Seite stellt die dauerhafte, aggressive und massenhafte Beerntung der Wildbestände einen nicht zu unterschätzenden Eingriff

in die Ökologie der jeweiligen Standorte dar, deren langfristige Auswirkungen noch nicht vollständig absehbar sind. In einigen Bundesländern steht der Bärlauch bereits auf der „Roten Liste“ der gefährdeten Arten (www.oekolplant-ev.de/Baerlauch.pdf, 2007).

Für die Inkulturnahme einer Wildpflanze spricht zudem die Möglichkeit der lückenlosen und zielgerichteten Einflussnahme auf die entscheidenden Qualitäts- und Quantitätsparameter, sowie die Chance (nach einer erfolgreichen Etablierung eines Bestandes) einer ökologisch, weil ohne Eingriff in den Wildstandort, verträglichen, nachhaltigen Produktion der Pflanzen und einer lückenlosen Dokumentation. In Zusammenarbeit mit der Firma Iglo Deutschland sollte im Rahmen dieser Arbeit die Eignung der Pflanze für eine Inkulturnahme untersucht und die gängigen, pflanzenbaulichen Mittel und Wege zur langfristigen Etablierung eines Bestandes geprüft werden.

Iglo Deutschland legt Wert auf eine nachhaltige Produktion seiner Waren und will als Konsequenz zukünftig von Wildsammlungen Abstand nehmen und den Wechsel zu einem kontrollierten Anbau auf Kulturflächen prüfen.

Neben den klassischen Fragestellungen wie z.B. zur Steigerung des Ertrages durch eine angepasste und bedarfsorientierte Düngung stehen bei der Überführung von Wildpflanzen in den Kulturanbau weitere, spezifischere Fragen im Mittelpunkt des Interesses. Grundsätzliche Forschungsansätze lassen sich in diesem Fall am einfachsten identifizieren, indem man zunächst grundlegende Erkenntnisse aus Beobachtungen an einem typischen Wildstandort zieht. Die dort zusammengetragenen Daten aus den verschiedenen Untersuchungen über z.B. die Standortcharakteristika zeigen auf, wo Anknüpfungspunkte für weitergehende Untersuchungen bestehen. So wurde als eine der wichtigsten Fragen u.a. die benötigte bzw. maximal verträgliche Lichtmenge für die am Wildstandort zumeist unter Laubbäumen vorkommende Art an einem Kulturstandort identifiziert.

Bärlauch kann sich sowohl generativ als auch vegetativ reproduzieren, trotzdem ist es z.B. durch die im Bärlauchsamen und in der Bärlauchzwiebel vorhandene Dormanz schwierig, Saat- bzw. Pflanzgut in ausreichender Menge bereit zu stellen. Neben der Etablierung bestand ein weiteres Augenmerk auf der Art und Weise der Beerntung. Eine mechanisierte Ernte kann zumeist von schon bestehenden Kulturpflanzen adaptiert werden. In diesem Themenfeld stand jedoch die Frage im Vordergrund, wie die Bärlauchkultur so beerntet werden kann, dass eine mehrjährige, nachhaltige Nutzung im Einklang mit möglichst hohen Erträgen steht,

ohne dabei die Pflanzen dauerhaft zu schädigen. Mithilfe der in dieser Arbeit angestellten, grundlegenden Untersuchungen an einem typischen Naturstandort und den sich daraus ergebenden Anknüpfungspunkten für weitere Versuche unter kontrollierten Bedingungen soll eine nachhaltige Inkulturnahme realisiert werden. Besonderer Wert soll dabei auf die entwicklungsphysiologischen Besonderheiten der Pflanze gelegt werden, welche vor allem auf den Wildpflanzencharakter, also die noch nicht erfolgte züchterische Bearbeitung dieser Pflanze, beruhen.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1 Taxonomie

CARL VON LINNE ordnete im Jahr 1753 in seinem Werk „*species plantarum*“ *Allium ursinum* in die Familie der *Liliaceae* ein.

Später gliederte DAHLGREN et al. (1982, 1985) *A. ursinum* in eine eigenständige Familie der *Alliaceae* ein, welche weiterhin der Ordnung der *Asparagales* zugeteilt wird. SENDL (1995) vervollständigt die Klassifikation:

Überordnung: *Liliana*

Unterklasse: *Liliidae*

Klasse: *Monocotyledones*.

Die Familie der *Alliaceae* beschreibende Merkmale sind nach DAHLGREN et al. (1982, 1985):

„Mehrjährige Kräuter, mit einer Zwiebel oder einer zwiebelähnlichen Knolle, die membranöse oder fibröse Aussenschalen aufweisen; viel seltener kommen auch Rhizome vor. Detaillierte Angaben zu den artspezifischen Merkmalen der Familie der *Alliaceae* finden sich u.a. bei DAHLGREEN et al. (1982, 1985) sowie TREMP (1996). Die seit DAHLGREEN (1982) neue Einteilung *Allium ursinum*s in die Familie der *Alliaceae* ist von hohem wissenschaftlichem Wert. Die ebenfalls in dieser Familie eingeordneten Pflanzen wie z.B. *Allium sativum* (Knoblauch) oder *Allium cepa* (Küchenzwiebel) u.v.m. zeigen sowohl in ihrer Morphologie als auch Physiologie deutliche Ähnlichkeiten mit dem Bärlauch. Dieses Wissen kann schon im Vorfeld der Versuchsplanung und –anlage genutzt werden, um bestimmte Problemfelder bzw. Fragestellungen einzugrenzen, da auf schon vorhandenes Wissen aus Untersuchungen an Pflanzen dieser Familie zurück gegriffen werden kann.

2.2 Morphologie und Physiologie

2.2.1 Pflanzenhabitus und Entwicklungsstadien

Bärlauch kann während seiner Entwicklung in drei Entwicklungsstadien unterteilt werden, welche allein durch ihre morphologischen Besonderheiten voneinander zu

unterscheiden sind. Nach ERNST (1979) kann zwischen den Entwicklungsstadien „Juvenil“, „Subadult“ und „Adult“ unterschieden werden (Abb. 1).



Abb. 1: Pflanzenentwicklungsstadien des Bärlauchs (von links): Juvenilstadium, Subadultstadium, Adultstadium, Adultstadium mit drittem Laubblatt (Befähigung zur veg. Vermehrung).

Die juvenilen Pflanzen lassen sich unschwer daran erkennen, dass sie lediglich ein Laubblatt bilden, welches dann im Verlauf der Seneszenz an seiner Stängelbasis die neue Zwiebel ausbildet. Das Juvenilstadium dauert am natürlichen Standort mindestens drei Jahre (FÜLLEKRUG, 1990; EGGERT, 1992; TREMP, 1996); ERNST (1979) nennt eine Verweildauer im Juvenilstadium von bis zu sechs Jahren, wobei er für Kulturbestände eine Dauer von drei bis vier Jahren ermittelte. Im Juvenilstadium ist der Pflanzenaufbau monopodial arrangiert. In Abhängigkeit der Güte der Standortfaktoren tritt die Pflanze als weiteren Entwicklungsschritt in das Subadultstadium ein, welches durch die Bildung eines zweiten Laubblattes gekennzeichnet ist. Kurz nach der Entfaltung des ersten Tragblattes erscheint dabei aus dessen scheidenartig ausgebildetem Grund das adossierte Vorblatt, dessen Basis später die Zwiebel bildet.

Sind die Standortfaktoren besonders günstig kann die Pflanze das Subadultstadium überspringen und sofort in das Adultstadium übergehen (EGGERT 1985; FÜLLEKRUG, 1990). Nun ist der Pflanzenaufbau sympodial gegliedert, die beiden Laubblätter gehören verschiedenen Achsen an (EGEGRT, 1985; TREMP, 1996). Die Pflanze bildet neben den zwei Laubblättern nun auch einen Blütenstand aus, welcher als Scheindolde angeordnet ist.

Unter optimalen Lebensbedingungen bildet Bärlauch mehr als zwei Blätter, wobei das dritte Blatt an seiner Stängelbasis ebenfalls eine Zwiebel ausbildet, sich also vegetativ vermehrt. Im darauf folgenden Jahr trennen sich die am Zwiebelboden

zunächst miteinander verwachsenen Mutter- und Tochterzwiebeln voneinander, so dass selbständige, genetisch identische Pflanzen (Klone) entstehen (FÜLLEKRUG 1990; TREMP 1996).

Der in Abb. 2 dargestellte Lebenszyklus *Allium ursinum* soll, stark vereinfacht und zusammengefasst dargestellt vermitteln, wie die einzelnen Entwicklungsphasen miteinander verflochten sind. Nach der Entwicklung der Jungpflanze aus einem Samen durchläuft die Pflanze mehrmals den Zyklus der Seneszenz/Zwiebelbildung und der Blattbildung, bis sie dann in das Adultstadium übertritt, in dem sie sich generativ und/oder vegetativ reproduziert. Die Samen beginnen ihren Lebenszyklus wieder im Juvenilstadium mit der Bildung des ersten, kleinen photosynthetisch aktiven Blattes, wobei die aus vegetativer Vermehrung hervorgegangene Tochterzwiebel zumeist direkt eine adulte Pflanze ausbildet, die bereits in ihrem ersten Lebensjahr ihrerseits zur Reproduktion befähigt ist.

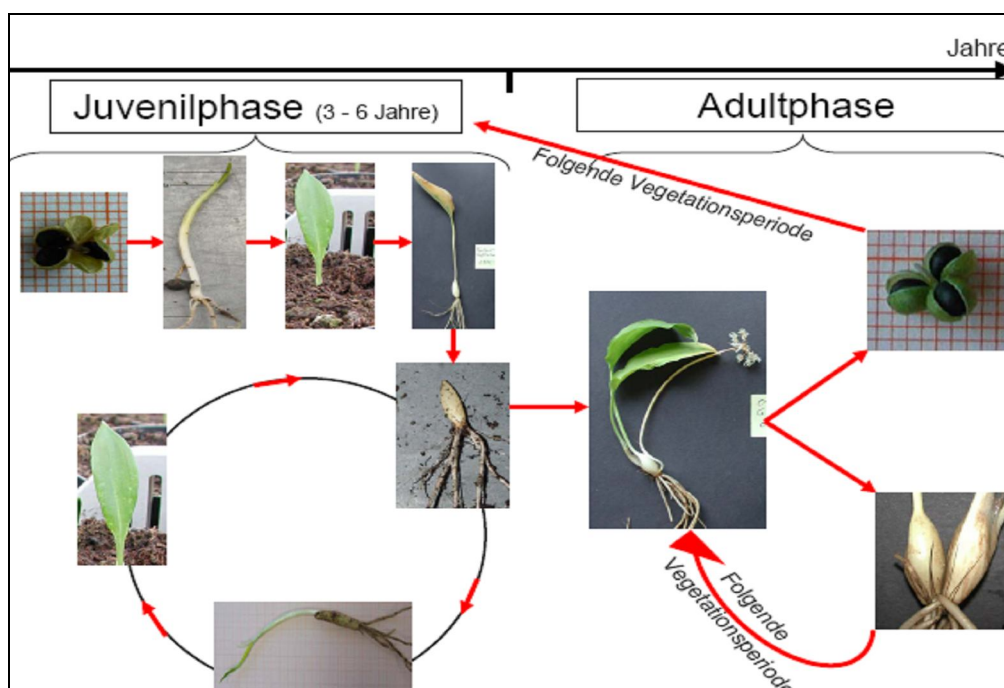


Abb. 2: Lebenszyklus von *Allium ursinum* L. (vereinfacht dargestellt).

Nähere Angaben zur Organisation des Verzweigungssystems finden sich bei TREMP (1996). Die Blätter sind, wie in Abbildung 3 illustriert, invers bifacial aufgebaut, d.h. die morphologische Unterseite bildet die funktionale Oberseite des Blattes (GHOSE, 1923; MÄCKEL, 1940; TREMP, 1996; BRESINSKY, 2008).

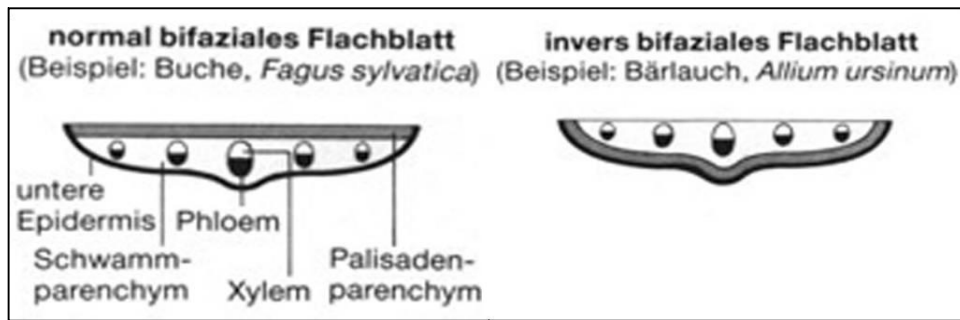


Abb. 3: Vergleich eines bifacialen Blattes mit einem invers bifacialen Blatt (aus: Strasburger (2008), Lehrbuch der Botanik).

2.2.2 Vermehrung

Bärlauch ist, wie viele Vertreter aus der Familie der *Alliaceae*, in der Lage, sich sowohl generativ über die Bildung von Samen als auch vegetativ durch die Bildung von Tochterzwiebeln zu reproduzieren. Beide Vermehrungsformen sorgen dafür, dass Bärlauch zumeist dichte Bestände bildet, da die Tochterzwiebel bei adulten Pflanzen direkt neben der „alten“ Zwiebel der Pflanze durch Verdickung der Stängelbasis der Blätter gebildet wird, und kein Samentransport stattfindet, so dass die Samen höchstens im Radius der Stängellänge um die Pflanze verteilt werden. Wie bei vielen Pflanzenarten der Krautschichtvegetation fallen die relativ schweren Samen entweder aus den Blüten der Scheindolde zu Boden oder der Stängel, welcher die Scheindolde trägt knickt aufgrund der einsetzenden Seneszenz ab und entlässt erst später seine Samen auf den Boden. Die von WEISS (1908) beschriebene Verbreitung der Samen durch Ameisen konnte, ebenso wie andere aktive Verbreitungsformen, in späteren Versuchen nicht nachgewiesen werden. Das Vorkommen vereinzelter Pflanzungen kann z.B. durch die zufällige Anheftung der Samen an Tierpfoten o.ä. erklärt werden.

SCHMUCKER und DRUDE (1934) konnten weder edaphische noch mikroklimatische Gründe für die teilweise stark uneinheitliche Verteilung der Pflanzen erkennen. Verschiedene Autoren haben sich in der Vergangenheit mit den Reproduktionsarten, deren Vor- und Nachteilen sowie deren Wichtigkeit zur Erhaltung der Art, auseinandergesetzt. Während EGGERT (1992) die vegetative Vermehrung als effizientere Maßnahme zur Populationserhaltung ansieht, hält ERNST (1979) die generative Vermehrung über Samen, trotz der hohen Verluste in den unterschiedlichen Entwicklungsstadien von der Samenanlage bis hin zur Dormanz der Samen, für die weitaus wichtigere Reproduktionsart. Je nach den Spezifikationen des (kleinräumigen) Standortes bzw. der Position der Pflanze im Bestand kann

Bärlauch sowohl den K- als auch den r-Strategen zugeordnet werden. EGGERT (1992) zählt Bärlauch, welcher an stabilen, besonnten Flächen beheimatet ist zu den K-Strategen, welche im Rahmen einer relativ geringe Reproduktionsrate mit qualitativ hochwertigen (überlebensfähigen) Nachkommen den Bestand aufrecht erhalten. Bärlauch an feuchten Waldstandorten neigt eher zur r-Strategie, welche sich in diesem Fall durch die zumindest potentiell mögliche massenhafte Bildung von Samen erkennen lässt. Diese differenziertere Betrachtung leitete er aus seinen Beobachtungen ab, in denen er eine vegetative Vermehrung der Pflanzen gehäuft am Rand der Bestände beobachten konnte.

Negativ zu bewerten ist bei der generativen Vermehrung vor allem der energetische Aufwand zur Samenproduktion (PÜTZ, 2006). Erschwerend kommt hinzu, dass lediglich ein Bruchteil der gebildeten Samen, aufgrund der verschiedensten biotischen und abiotischen Faktoren, überhaupt das Adultstadium erreicht (BIERZYCHUDEK, 1982; KARPAVICIENE, 2003). ENRST (1979) berichtet, dass lediglich ca. 50 % der Samenanlagen überhaupt später zu Samen heranreifen.

Für die vegetative Vermehrung durch Tochterzwiebelbildung spricht hauptsächlich die auf die Trockenmasse bezogene Energiebilanz (EGGERT, 1992). Zudem sind die gebildeten Tochterzwiebeln in aller Regel adulte Pflanzen, welche ihrerseits im darauf folgenden Jahr direkt in der Lage sind zu blühen und sich wiederum vegetativ zu vermehren. Die Horstbildung der Pflanzen kann jedoch mit zunehmendem Bestandesalter zu einem Problem werden. Über mehrere Jahre entsteht auf engstem Raum ein Horst aus einer Vielzahl von Pflanzen, welche zueinander in intraspezifische Konkurrenz stehen. Im weiteren Verlauf führt diese Konkurrenz um z.B. Nährstoffe zu einem suboptimalen Wachstum der Pflanzen, was sich schließlich auch in einer verminderten allgemeinen Leistungsfähigkeit der Pflanze widerspiegelt.

2.2.2.1 Generative Vermehrung

Die generative Vermehrung über Samen hat im Gegensatz zur vegetativen Vermehrung über die Bildung von Tochterzwiebeln den Vorteil, dass keine identischen Klone entstehen, sondern die Erbanlagen neu rekombiniert werden. Dies ist vor allem dann von großer Bedeutung, wenn die Pflanzen auf sich ändernde biotische oder abiotische Umwelteinflüsse reagieren müssen oder neue Lebensräume erschließen.

Die Bestäubung der Blüten findet zumeist durch Hummeln und Bienen statt. Findet keine Zoogamie statt, kann es zu spontaner Autogamie kommen, wobei sich der Griffel zu den Staubbeuteln herabbiegt (KIRCHNER et al., 1934; HEGI, 1939).

Die Samen des Bärlauch haben eine TKM von ca. 6 g (vgl. EGGERT, 1985; ERNST, 1979; DIESSENBACHER, 2007). Das Samengewicht der schattentoleranten Arten ist in Vergleich zu anderen Pflanzen oftmals höher, um unter erschwerten Keimbedingungen eine ausreichende Nährstoffreserve zu besitzen (BIERZYCHUDEK, 1982). Voll ausgereift besitzen die Samen eine harte, schwarze Schale (Testa) welche unter anderem für die Dormanz der Samen mitverantwortlich ist. Die Blüten sind in einer Scheindolde angeordnet, welche ihrerseits wiederum auf einem annähernd dreieckigen Stängel fußt. KARPAVICIENE (2003) erfasste an verschiedenen Standorten in Litauen Stängellängen zwischen 30 – 42 cm. ERNST (1979) ermittelte eine durchschnittliche Stängellänge von 22,4 cm und EGGERT (1985) ermittelte in Beständen des Göttinger Waldes Stängelhöhen zwischen 30 – 50 cm. Aus den Kontrollparzellen (keine Beschattung) des Freilandversuchs auf der LFS Marhof der Universität Bonn wurden bei den Pflanzen Stängellängen von durchschnittlich 13 cm gemessen.

Zumeist knicken die Stängel der Scheindolden schon vor der eigentlichen Samenreife ab, so dass die Verbreitung der Samen hauptsächlich von der Länge des Stängels, auf welchem die Scheindolde fußt, abhängt. Die Samen sind gekennzeichnet durch eine tiefe morphophysiologische Epikotyl dormanz. Eine Besonderheit ist, dass nicht die Keimwurzel zuerst austritt, sondern das Keimblatt durch sein Wachstum innerhalb des Samens die Wurzel- und Samenanlagen aus dem Samenkorn herauschiebt (DIESSENBACHER, 2007).

SCHMUCKER und DRUDE (1939) zählten an dem von ihnen beobachteten Wildstandort bis zu 9.000 Samen auf einem Quadratmeter. Diese extrem hohe Samenanzahl erklärt sich zum einen mit der zumindest theoretisch sehr hohen Samenbildungsrate und zum anderen mit der hohen Standdichte der Bärlauchbestände. KARPAVICIENE (2003) ermittelte an einem der beobachteten Wildstandorte eine maximale Samenzahl von ca. 4.000 Samen/m².

Von Bedeutung und außerdem weitaus aussagekräftiger, da vergleichbar, ist die Samenbildungsrate der einzelnen Pflanze. Hier muss strikt auf die richtige Anwendung der Termini geachtet werden. Als Pflanze wird im Allgemeinen eine Einheit aus den drei Grundelementen Wurzel, Sproß und Blatt bezeichnet. So besteht eine, sich in der Juvenilphase befindliche Bärlauchpflanze aus diesen drei

Elementen; die später gebildete Zwiebel wird in diesem Fall zum Blatt gerechnet, da die Zwiebel aus der Verdickung des unteren Teils des Blattstieles entsteht.

Eine adulte Pflanze hingegen kann auch aus zwei Zwiebeln und zwei (oder mehr) Blättern und zwei (oder mehr) Scheindolden bestehen. Im ersten Jahr ihres Wachstums sind die Zwiebeln an deren Zwiebelboden miteinander verwachsen und können daher als eine Pflanze (im Englischen = ramet = Gruppe vegetativer Abkömmlinge) beschrieben werden. Im folgenden Jahr trennt sich diese Einheit am Zwiebelboden voneinander und es entstehen zwei voneinander unabhängige Pflanzen die aber genetisch identisch sind. Der Abkömmling der Mutterpflanze wird dann, aufgrund der identischen Erbanlagen, als Klon bezeichnet.

Da auf den ersten Blick nur selten zu sehen ist, ob es sich um zwei unabhängige Pflanzen oder um ramets handelt, und da adulte Pflanzen eine unterschiedliche Anzahl an Scheindolden ausbilden können wird im Folgenden die Samenproduktion einer Scheindolde als Bezugsgröße angegeben.

Die Scheindolde besteht aus 5 – 34 Blüten, jede Blüte besitzt drei Samenkammern mit jeweils zwei Samenanlagen, so dass pro Blüte eine maximale Samenanzahl von sechs Samen gebildet werden kann. KARPAVICIENE (2003) zählte in ihrer Arbeit im Durchschnitt 12 Blüten pro Scheindolde, somit eine mögliche Samenanzahl von 72 Samen pro Scheindolde. Die Befruchtungsrate lag in den Jahren 2000 bis 2002 durchschnittlich bei 37 %, so dass bei 72 bestehenden Samenanlagen die ASP (actual seed productivity) bei lediglich 27 Samen lag. EGGERT (1992) konnte in seiner Arbeit lediglich 9,6 Samen pro Scheindolde zählen. ERNST (1979) beschreibt analog zu diesen Beobachtungen, dass sich weniger als 50 % der Samenanlagen zu reifen Samen entwickeln.

DIESSENBACHER (2007) konnte unter Laborbedingungen eine maximale Keimrate von 80 % bei Bärlauchsaatgut von Naturstandorten realisieren. HEIDRICH (2007), ermittelte für Bärlauch Saatgut mittels TTC-Test eine Lebensfähigkeit von 80 %, so dass davon auszugehen ist, dass in dem von DIESSENBACHER (2007) getätigten Versuch – unter der Annahme der von HEIDRICH (2007) ermittelten Lebensfähigkeit – alle lebensfähigen Samen zur Keimung gebracht werden konnten. Untersuchungen von ERNST (1979) ergaben, dass lediglich 10,6 % der jungen Sämlinge im Verlauf ihrer Entwicklung überhaupt das Adultstadium erreichen. Auf Grundlage der oben angeführten Daten (27 Samen pro Scheindolde, 80 % Keimrate, 10,6 % Erreichen

des Adultstadiums) entwickeln sich schließlich aus den durchschnittlich möglichen 72 Samenanlagen maximal 2,3 adulte Pflanzen.

PÜTZ (2009) ermittelte den enormen Energieaufwand von 41 % des gesamten Photosynthesegewinns zur Blüten- und Samenproduktion, welcher im weiteren Verlauf der Pflanzenentwicklung dazu führt, dass im Folgejahr rund 81 % der Pflanzen nicht erneut blühen (EGGERT, 1992).

Nach ERNST (1979) verweilen die Samen bis zu sechs Jahren in der Streu im Boden, bevor sie keimen. Die Keimung erfolgt dann hypogeal, durch abwärtsgerichtete Streckung des Keimblattes (EGGERT, 1985). Aus dem Keimblatt entwickelt sich ein dünnes, hyalines Niederblatt, welches die Substratoberfläche durchstößt und als Schutz der Triebknospe fungiert (TUTIN, 1957; GRIME et al., 1988).

NIKOLAEVA (1977) teilt die Dormanz, die auf den Eigenschaften des Samens selbst beruhen, in exogene und endogene Dormanzursachen ein, welche wiederum auf unterschiedlichen Ursachen wie z.B. einer wasserundurchlässigen Samenschale, einem unterentwickeltem Embryo beruhen und in den meisten Fällen durch eine spezifische Behandlung gebrochen werden können. PAK et al. (1995) definieren die Dormanz als Zeitraum zwischen Terminierung der Zwiebelanlage und dem Beginn des Blattwachstums. Nach DIESENBACHER (2007) ist die Dormanz der Bärlauchsamen in drei Teilabschnitte untergliedert:

1. hohe Sommertemperaturen (zur Brechung der ersten physiologischen Dormanz)
2. gefolgt von einem kühlen Herbst (Aufhebung der morphologischen Dormanz, Stimulierung des Keimungsprozesses und Stimulierung des Embryos)
3. wiederum gefolgt von der zweiten physiologischen Dormanz, die durch niedrige Temperaturen in den Wintermonaten gebrochen wird.

Steigende Temperaturen im Frühling regen dann abschließend das Wachstum des Epikotyls an.

2.2.2.2 Vegetative Vermehrung

Nach BRESINSKY et al. (2008) ist die vegetative Fortpflanzung definiert durch die Erzeugung von Nachkommen ausschließlich durch mitotische Kernteilung aus somatischem Gewebe, wobei die Nachkommen mit den Eltern weitestgehend genetisch identisch sind. Die aus der vegetativen Vermehrung hervorgegangenen Individuen werden auch als Rameten (engl. ramets) bezeichnet. Durch vegetative

Fortpflanzung können nach BRESINSKY et al. (2008) genetische Individuen beträchtlicher Größe und teilweise überraschend hohen Alters entstehen. FÜLLEKRUG (1990) wies nach, dass eine vegetative Vermehrung verstärkt bei günstigen Lebensbedingungen und somit zumeist im Randbereich eines Bestandes zu beobachten ist, da dort die intraspezifische Konkurrenz geringer ist.

Die Zwiebeln des Bärlauchs unterliegen, wie auch die Samen, einem Dormanzmechanismus, welcher in eine Sommer- und eine Winterdormanz unterteilt ist. Während die Sommerdormanz, nach Beendigung der Seneszenz der Blätter etwa im August beginnt und bis ca. Oktober andauert, erstreckt sich die Winterdormanz zwischen Dezember und Februar, bis der Blattaustrieb beginnt (ERNST, 1979); zwischen den beiden aufeinander folgenden Dormanzmechanismen entwickeln die Zwiebeln die neuen, feinen, so genannten Herbstwurzeln. Eine genaue Terminierung des Einsetzens und des Endens der verschiedenen Dormanzabschnitte ist nicht genau möglich, da sie von einer Vielzahl - vor allem - biotischer Faktoren abhängig sind.

Zur Bildung einer Tochterzwiebel wird von einer Pflanze ungefähr die doppelte Menge an Kohlenstoff im Vergleich zur Bildung von Samen benötigt (EGGERT, 1992). Jedoch bringt diese Art der Vermehrung im Folgejahr direkt eine adulte Pflanze hervor, welche unter günstigen Umständen wiederum direkt in der Lage ist, sich vegetativ fortzupflanzen (SPECHT, 1997). Im Frühjahr treiben die vorjährigen Zwiebeln schnell aus, wobei sie von ihren Reservestoffen im Endosperm fast ausschließlich in Form von Fructan zehren. Im Verlauf der Wachstumsphase werden die gesamten Reservestoffe zum Aufbau neuer Biomasse benötigt, sodass spätestens im Mai die „alte“ Zwiebel und deren eingelagerte Speicherkohlenhydrate verbraucht sind, und nur noch die verholzten Sklerenchymfasern und einige wenige Gewebereste makroskopisch erkennbar sind. Ab diesem Zeitpunkt kann die Pflanze nicht mehr autark überleben, sondern ist auf die durch die Photosynthese gewonnene Energie und die Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln angewiesen.

Die Pflanze durchläuft in ihrer Entwicklung mehrere Stadien: nach der Keimung des Samens bildet der junge Keimling nur ein kleines, photosynthetisch aktives Laubblatt. Auch in den Folgejahren befindet sich die Pflanze noch im Juvenilstadium, welches rein morphologisch durch ein einziges Laubblatt zu identifizieren ist. Mit zunehmendem Alter, unter günstigen Bedingungen, gelingt es der Pflanze eine ausreichende Menge Trockenmasse zu bilden, die für den Übergang in das Adultstadium unerlässlich ist (FÜLLEKRUG, 1990). Die Bildung eines, den

Sprössling schützenden, Niederblattes ist allen Entwicklungsstufen gemein. Im Adultstadium umschließt das erste Laubblatt das zweite Laubblatt an dessen Stängelbasis, wobei sich nach dem Absterben des ersten Laubblattes und der Blüte die Hauptsprossachse erschöpft. Das zweite Laubblatt bildet als Seitenspross später an seiner Blattbasis die Zwiebel. Entsteht aus der Achselknospe des Niederblattes ein weiterer Seitenspross, bildet sich eine Pflanze mit drei Blättern und mindestens einer Infloreszenz, wobei wiederum das zweite Laubblatt die Hauptzwiebel und das dritte Laubblatt die Tochterzwiebel an deren Blattbasen bilden. Diese vegetative Vermehrung führt, unter im Vergleich zur Samenbildung verdoppelten Energiebedarf, zur Bildung einer adulten Pflanze, wobei dies laut TUTIN (1957) lediglich bei extrem starken Pflanzen zu beobachten ist. Trotz des höheren Energiebedarfs zur Bildung einer Tochterzwiebel führt dieser Vermehrungsweg zu einer höheren Vermehrungsrate (EGGERT, 1992), da die Pflanzen nicht mehr die Juvenilphase durchlaufen müssen, welche durch hohe Sterblichkeitsraten in den einzelnen Entwicklungsstadien gekennzeichnet ist.

2.3 Standortansprüche

Bärlauch besiedelt eine Vielzahl verschiedener Habitats. Die Haupteinflüsse, die die Verbreitung bzw. Festigung des Bärlauchs im Ökosystem Wald beschreiben, fasst BÖHLING (2003) in folgender Abbildung 4 zusammen.

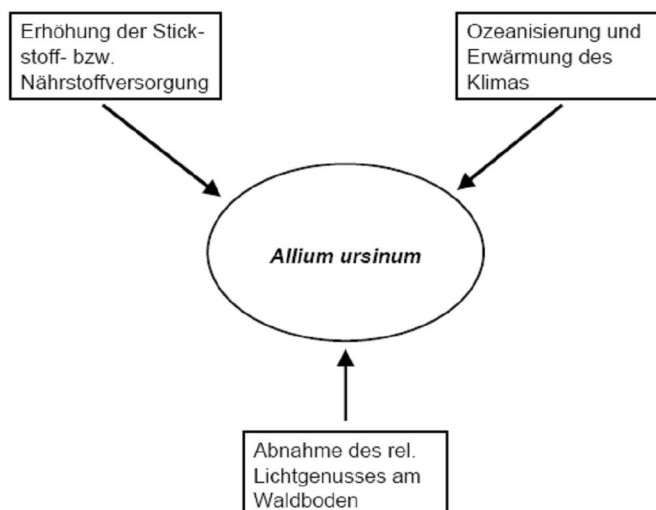


Abb. 4: Positiv wirkende, anthropogene Einflüsse auf *Allium ursinum* und dessen Verbreitung am natürlichen Standort (verändert nach BÖHLING, 2003).

SCHMUCKER und DRUDE (1934) konnten in ihren Untersuchungen zwischen den einzelnen, mit Bärlauch bewachsenen Flächen nur wenige bzw. keine

Gemeinsamkeiten erkennen. Fast allen Standorten gemein ist jedoch ihr Vorkommen in zumeist laubabwerfenden Wäldern. Durch das Laub der Bäume bildet sich über Winter eine teilweise mehrere Dezimeter dicke isolierende Streuauflage, die im Winter die im Boden verbliebenen Zwiebeln und im Frühjahr die sich verlängernde, aus dem Boden ragende Sprossachse vor Temperaturextremen schützen. Bärlauch reagiert, wie bereits erwähnt, gerade in seiner Jugendentwicklung negativ auf Spätfröste.

Als typische Pflanze der gemäßigten Klimazone besiedelt der Bärlauch im Norden bis zum 64° N Breitengrad Teile der norwegischen Küste, im Süden reicht sein Verbreitungsgebiet bis hin zum 38° N Breitengrad (Sizilien). Im Westen bilden Nordspanien und Irland die geografische Grenze, während im Osten seine Grenzen in und um die Ukraine, Weißrussland und den Kaukasus liegen (vgl. MEUSEL et al., 1965).

Weitere allgemeingültige Gemeinsamkeiten der verschiedenen Bärlauchstandorte sind in den folgenden Unterkapiteln zu finden.

2.3.1 Boden

Durch sein natürliches Vorkommen in den laubabwerfenden Mischwäldern der gemäßigten Breiten ist eine Beschreibung der Bodenkennwerte stark abhängig von der Art der Bewaldung, in der Bärlauch beheimatet ist. Zumeist ist er unter Buchen- bzw. Buchenmischwäldern zu finden. GRIME et al. (1988) beschreiben einen pH-Wert des Bodens zwischen 6 und 7,5 als optimal, berichten aber auch von Messungen mit einem pH-Wert von $\leq 4,5$ an einzelnen Standorte. Unter einem pH-Wert von 4,5 konnte kein Wachstum der Pflanzen beobachtet werden. Für Europa konnte HEGI (1939) eine pH-Wertspanne von 5,5 bis 7,9 ermitteln, ähnliche Werte finden sich auch für die von TREMP (1996) beschriebenen Standorte in der Schweiz, sowie für die von KLINKHAMMER (2007) untersuchten Standorte in der Eifel.

Da Bärlauch negativ auf Stauwasser und auf Trockenheit reagiert, kommt er nur äußerst selten auf zu Staunässe neigenden, schweren Tonböden, Moorböden wie auch auf Böden mit schlechtem Wasserhaltevermögen wie z.B. Sandböden vor. Er bevorzugt vielmehr tiefgründige, lehmige Böden, welche zumeist einen hohen Humusanteil aufweisen (TUTIN, 1957).

KLINKHAMMER (2007) ermittelte für den von ihm untersuchten bärlauchreichen Standort einen Humusgehalt von 10,1 bis 12,5 %; TREMP konnte Werte von 5,1 bis 11,2 % ermitteln.

2.3.2 Nährstoffe

Eine ausreichende Versorgung der Pflanzen mit den essentiellen Makro- und Mikronährelementen ist für deren Wachstum sowie deren Etablierung bzw. Besiedlung eines Standortes von großer Bedeutung. Oftmals wird Bärlauch als Stickstoffzeigerpflanze beschrieben, welche als Voraussetzung für einen üppigen Wuchs hohe Mengen an Stickstoff benötigt. TREMP (1996) konnte z.B. für den von ihm beobachteten Standort Schanxen einen Stickstoffgehalt von 40 kg N/ha ermitteln und stufte diesen Wert bereits als „hoch“ ein. Zu beachten ist bei solchen Aussagen immer, dass der aktuell ermittelte N_{\min} -Gehalt lediglich eine Momentaufnahme darstellt und keinerlei Rückschlüsse auf die Mineralisation vor bzw. nach der Messung zulässt. Gerade an Waldstandorten, mit den über Jahrhunderte gewachsenen, meist humusreichen und von einer teils mächtigen Laubschicht bedeckten Böden, ist mit hohen N-Nachlieferungsraten über die gesamte Vegetationszeit hinweg zu rechnen. Dagegen ist z.B. auf gemüsebaulich genutzten Standorten, mit einem im Gegensatz zu Waldstandorten geringen Humusanteil, eine mineralische Düngung durch die sehr einseitigen und zeitlich und räumlich stark konzentrierten Nährstoffentzüge, obligatorisch.

Grundsätzlich gelten für die Düngung von Heil- und Gewürzpflanzen, welche auf Kulturf Flächen angebaut werden, die gleichen Regeln wie für die Düngung von konventionellen Feldfrüchten. Rechtlich geregelt ist die Düngung von Arznei- und Gewürzpflanzen durch die Düngemittelverordnung (Bundesgesetzblatt Jahrgang 2003 Teil I Nr. 57) sowie die „guidelines on good agricultural and collection practices“ (GACP) for medicinal plants der WORLD HEALTH ORGANIZATION (2003). Demzufolge ist eine Düngung nur in Höhe der Nährstoffabfuhr durch das Erntegut zulässig. BOMME und NAST (1998) empfehlen daher eine Bodenuntersuchung in 0 – 60 cm Tiefe als Grundlage einer bedarfsgerechten Düngung. KREß et al. (2007) geben detaillierte Werte für die anzustrebenden Gehaltstufen für die Nährelemente Phosphor (als P_2O_5), Kalium (K_2O) und Magnesium (Mg) in Abhängigkeit der Bodenart an.

BOMME und NAST (1998) beschreiben in ihrer Arbeit u.a. den Entzug der Krautrückstände bei Knoblauch, einen engen Verwandten des Bärlauch. Sie ermittelten Entzüge in Höhe von 2,4 kg Stickstoff, 0,9 kg Phosphor (P_2O_5), 4,7 kg Kalium (K_2O) und 0,6 kg MgO pro 1000 kg Kraut an. FINCK (1992) empfiehlt für Blatt- und Krautdrogen N-Gaben in Höhe von bis zu 100 kg N/ha; CARLEN und CARRON (2007) empfehlen für Pflanzen mit einer erwarteten Erntemenge bis 5 t/ha eine Düngung von 40 kg N/ha. Kulturspezifische Angaben für Bärlauch finden sich bisher nicht in der Literatur. Grundsätzlich ist jedoch bei jeder Düngung zu beachten, dass die Hauptnährelemente nicht in einem zu starken Ungleichgewicht zueinander stehen (DACHLER und PELZMANN, 1999), ebenso ist zu bedenken, dass je nach Verwendungszweck und Art der Nutzung eine angepasste Düngung zu erfolgen hat. Die Düngung richtet sich nach den, mit dem Erntematerial abgeführten Nährstoffen, welche somit dem Standort nicht mehr zur Verfügung stehen (DIEPENBROCK et al., 1999). In diesem Zusammenhang weist HEYLAND (1996) darauf hin, dass mit einer Steigerung der Quantität des Erntegutes nicht zwangsweise auch eine Steigerung der Qualität, insbesondere die wertgebenden Inhaltstoffe betreffend, gegeben ist.

2.3.3 Klima

Die klimatischen Gegebenheiten an Bärlauchstandorten sind eng verbunden mit der geografischen Ausbreitung der Art. Die gemäßigten Klimazonen sind charakterisiert durch den kontinentalen Einfluss. Im Sommer können die Temperaturen über 30 °C ansteigen, im Winter fallen die Temperaturen unter den Gefrierpunkt.

Obwohl Bärlauch als frosthart bezeichnet wird (TUTIN, 1957), ist er doch empfindlich gegen Spätfröste, vor allem, wenn der junge Spross bereits die Bodenoberfläche und die Laubaufgabe durchbrochen hat (SCHMUCKER und DRUDE, 1934).

2.3.4 Licht

Während zu Beginn des Jahres noch fast die gesamte Strahlung die unbelaubte Kronenschicht der Wälder passieren kann, nimmt mit zunehmender Belaubung auch die am Boden eintreffende Strahlungsmenge ab (siehe Abb. 5).

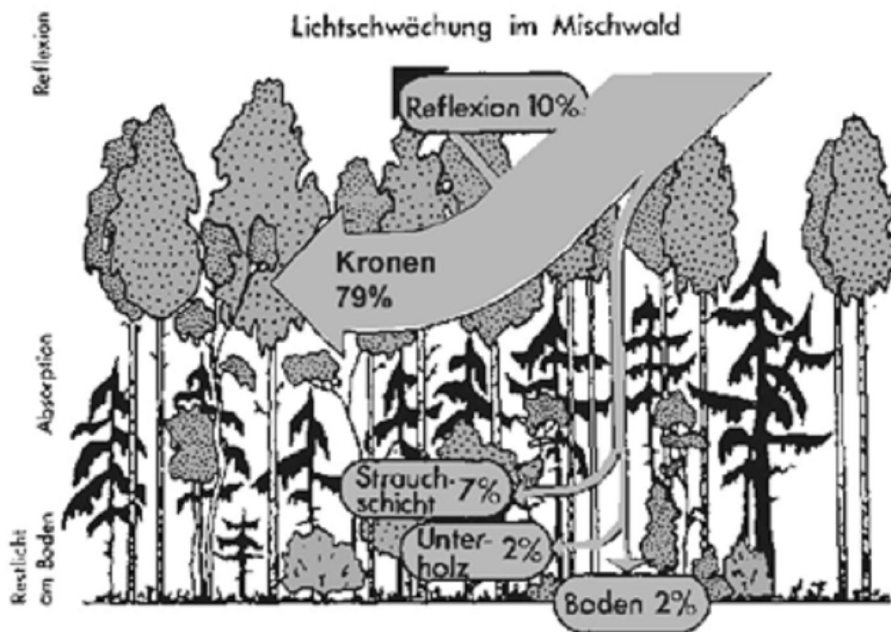


Abb. 5: Lichtschwächung im Mischwald; aus: Nachtigall, W. (1985): Unbekannte Umwelt, Heyne Verlag München.

Pflanzen, die unterhalb der Strauchschicht überleben wollen, verfolgen zwei unterschiedliche Strategien. Einigen, als Schattenpflanzen spezialisierte Pflanzen der waldbodennahen Vegetation reicht eine geringe Strahlung, um eine Nettoassimilation zu erwirtschaften. Diese Pflanzen sind zumeist an ihrem kleinen, oft als „spärlich“ zu bezeichnenden Wuchs zu erkennen. Die zweite Möglichkeit besteht in einem frühen Wachstumsbeginn und im weiteren Verlauf in einer schnellen Pflanzenentwicklung. Im Allgemeinen nutzen diese Pflanzen die Zeitspanne bis zur einsetzenden Belaubung der sie überragenden Bäume, um zumindest weitestgehend, ihren Lebenszyklus zu durchlaufen. Diese Arten sind, wie auch der Bärlauch gekennzeichnet von einem frühen Austreiben, einer schnellen Pflanzenentwicklung und einer relativ kurzen (oberirdischen) Lebensphase. Die 2. Strategie können allerdings nur Pflanzen verfolgen, die über eine ausreichende Reserve an Grundbausteinen in Form von Kohlenhydraten verfügen, mit denen es ihnen möglich ist, schnell photosynthetisch aktives Gewebe oberhalb der Bodenoberfläche zu bilden. Zu diesem Typus zählt auch Bärlauch als perennierender Geophyt, der hauptsächlich in Buchenmischwäldern beheimatet ist und als Speicherorgan eine Zwiebel ausbildet.

Bärlauch besitzt einen sehr effizienten Photosyntheseapparat, der es der Pflanze ermöglicht, im Gegensatz zu den Sonnenpflanzen, relativ schnell bei geringer Einstrahlungsintensität eine positive Nettoassimilation, also eine größere Bindung

von CO_2 in der Pflanze als die bei der Atmung ausgeschiedene CO_2 -Menge, zu erzielen (LIETH und ASHTON, 1961).

In vielen Fällen sind Pflanzen des Waldunterwuchses in höchstem Maße starklichtempfindlich (photolabil) und reagieren auch schon bei kurzfristigen starken Einstrahlungsintensitäten mit einer verringerten Photosyntheseleistung. Dabei können sowohl bei einem Überangebot an photosynthetisch aktiver Strahlung, als auch bei der kurzwelligern UV-Strahlung freie Sauerstoffradikale entstehen, die zur Photodestruktion einzelner Chloroplasten in der obersten Lage des Palisadenparenchyms führen und damit zu einer verringerten Quantenausbeute und somit verringerten Assimilationsleistung führen (LARCHER, 2001). LARCHER (2001) stellt in Abbildung 6 die Nettophotosyntheseraten verschiedener Pflanzengruppen in Abhängigkeit der einwirkenden PAR dar.

Der Überschuss an Anregungsenergie wird dann durch die Xanthophylle Zeaxanthin und Antheraxanthin im Xanthophyllzyklus in Form von Wärme abgeleitet, wobei der genaue Mechanismus dieser Energiedissipation noch nicht vollständig aufgeklärt ist (DEMMING-ADAMS und ADAMS III, 1996).

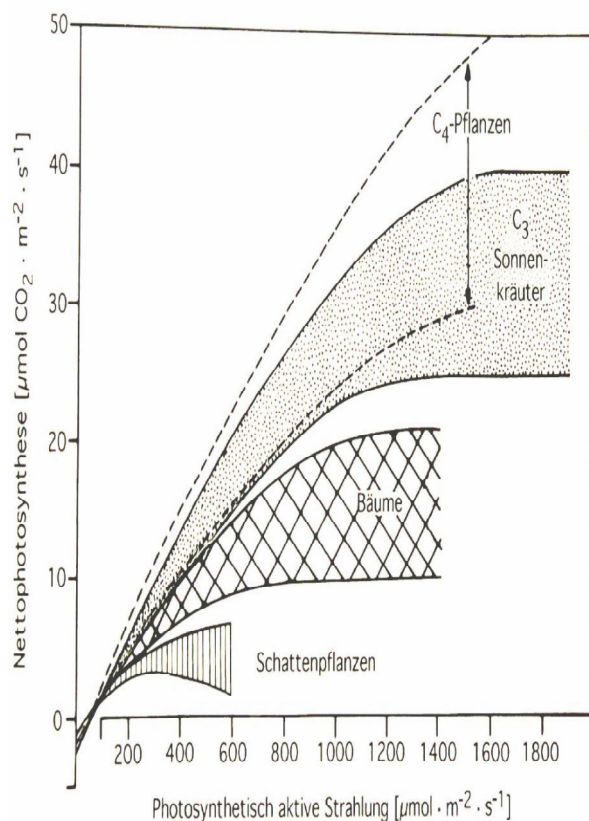


Abb. 6: Nettophotosyntheserate versch. Pflanzengruppen in Abhängigkeit der auf die Pflanze einwirkenden PAR; aus: LARCHER, W. (1995): Physiological plant ecology. Plants under stress. Springer. Austria.

In der Literatur wird der „optimale“ Bärlauchstandort widersprüchlich dargestellt. Während z.B. GRIME (1988) Bärlauch als erfolgreichen Besiedler stark beschatteter Buchenwäldern beschreibt, beobachteten TUTIN (1957) und EGGERT (1992), dass mit steigender Belichtung auch die Performance der Pflanze steigt. BOMME (2007) beschreibt Bärlauch als Pflanze die sowohl gegen zu starke Sonneneinstrahlung als auch gegen Spätfröste sehr empfindlich zu sein scheint. TREMP (1996) bezeichnet, ähnlich wie auch SCMUICKER und DRUDE (1934), die Standortansprüche dieser Art als sehr variabel, was bei der Betrachtung des natürlichen Standortes sehr treffend ist, da es dort kaum möglich ist, den Faktor „Licht“ losgelöst und ohne Wechselwirkung mit anderen Faktoren betrachten zu können, zumal auch innerhalb der Bestände die Standorteigenschaften mosaikartig wechseln. Neben den Standorteigenschaften die sich, wie oben erwähnt in großem Maße unterscheiden können, ist vor allem die Reaktion der Pflanzen auf die unterschiedlichen Einstrahlungsverhältnisse interessant. RAHIM (1991) beschreibt z.B. eine Zunahme der Blattfläche durch Zellexpansion als Reaktion auf eine zunehmende Beschattung der Pflanzen, wie sie schon bei einigen Vertretern der *Monokotyledonen* beschrieben wird. Er sieht in der Lichtintensität weiterhin die Hauptursache für die Bildung der Blattfläche sowohl durch Zellexpansion als auch durch Zellteilung.

2.4 Inhaltsstoffe

Kohlenhydrate

Kohlenhydrate werden definiert als Moleküle, die Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff in einem Verhältnis $(CH_2O)_n$ besitzen, wobei $n \geq 3$ ist. Sie sind die Vorläufer aller Pflanzenprodukte und mit wenigen Ausnahmen machen sie die größte Masse in der Pflanzenzelle aus. Sie werden unterteilt in Monosaccharide, Oligosaccharide und Polysaccharide (vgl. DUFFUS et al., 1984).

Die bei der Photosynthese entstehenden „Einfachzucker“ Glucose und Fructose besitzen die gleiche Summenformel, weisen jedoch verschiedene reaktive Gruppen auf.

Monosaccharide werden je nach ihrer funktionellen Gruppe, in Aldosen und Ketosen unterteilt. Aldosen besitzen als funktionelle Einheit eine endständige Carbonyl-Gruppe, während die Ketosen eine Keto-Gruppe an einem nicht endständigen Kohlenstoffatom besitzen. Glucose ist mit sechs C-Atomen eine Hexoaldose, Fructose eine Hexoketose; beide Moleküle kommen in jeweils zwei verschiedenen

Formen, der D- und der L-Form vor und werden deshalb auch als Stereoisomere bezeichnet.

Stereoisomere besitzen identische Summenformeln und unterscheiden sich nicht in ihren physikalischen Eigenschaften, sind allerdings nicht deckungsgleich in Bezug auf die Anordnung der Hydroxylgruppen im Molekül. Die Bezeichnung D- bzw. L- rührt von der optisch Aktivität der Enantiomere her, wobei die D-Form linear polarisiertes Licht im Uhrzeigersinn und L-Formen das Licht gegen den Uhrzeigersinn drehen. In der Natur kommt fast ausschließlich die D-Form vor.

Die Monosaccharide stellen die Grundbausteine für die Oligo- bzw. Polysaccharide dar, deren Aufbau in zwei durch Enzyme katalysierten Schritten erfolgt.

Im ersten Schritt werden mit Hilfe des Enzyms Saccharose-Saccharose-Fructosyltransferase (SST) zwei Saccharosemoleküle zu einem Trisaccharid und einem (freien) Glucosemolekül umgewandelt: $GF + GF \rightarrow GFF + F$.

In einem zweiten Schritt katalysiert das Enzym Fructan-Fructan-Fructosyltransferase (FFT) die Reaktion der Kettenverlängerung der Fructane. Hierbei wird ein Trisaccharid dadurch verlängert, dass von einem anderen Trisaccharid ein Fructosemolekül abgespalten und an das andere Trisaccharid durch eine glycosidische Bindung angehängt wird: $G(F)_n + G(F)_m \rightarrow G(F)_{n-1} + G(F)_{m+1}$ (vgl. DARBYSHIRE et al., (1990), vgl. Abb. 7.

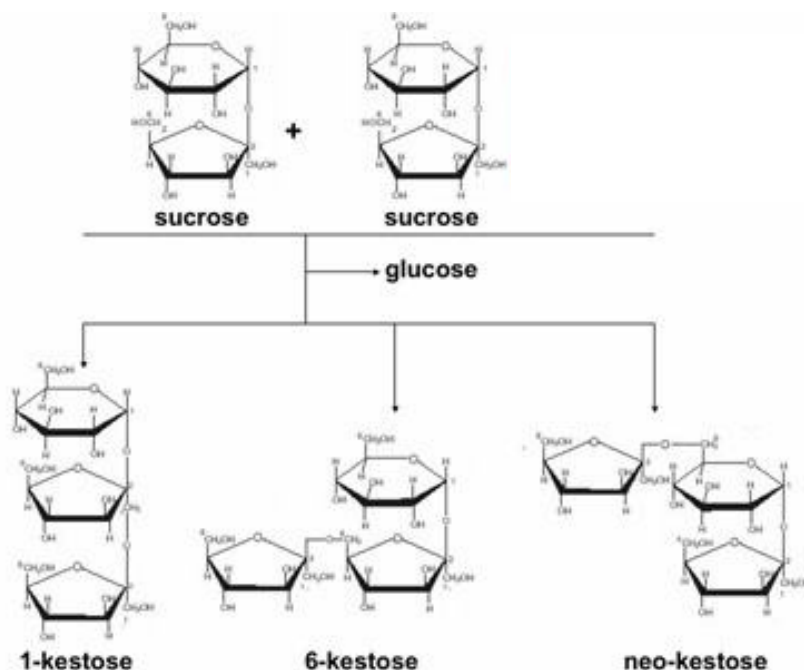


Abb. 7: Verknüpfung von zwei Saccharosemolekülen durch SST und die daraus resultierenden drei verschiedenen Bindungsmöglichkeiten. Aus: <http://4e.plantphys.net/article.php?ch=8&id=341> (11.03.2009).

Die einzelnen Fructoseeinheiten werden auf drei unterschiedliche Arten an die „Saccharose-Startereinheit“ gebunden, wobei die den *Alliaceae* zugeordneten *Zwiebelgewächse* in der neo-ketose-Art gebunden werden. Die zwei Fructoseketten werden dabei via β (1-2) Bindungen an die Startereinheit angeknüpft.

Die so entstandene „Kette“ kann theoretisch beliebig lang verknüpft werden, wobei die meisten Pflanzen zwischen drei bis einigen hundert Fructoseeinheiten miteinander verketten (vgl. RIETSEMA und SMEEKENS, 2003 b). Die Anzahl der zu einem Polysaccharid verknüpften Fructoseeinheiten wird durch den „degree of polymerisation“ (DP) beschrieben. Einige Bakterien können Zucker mit einem DP von 100.000 synthetisieren. Der DP kann geschätzt werden, indem die Mengen an freier Glucose, freier Fructose und $\frac{1}{2}$ Saccharose vom Gesamt-Glucosegehalt und Gesamt-Fructosegehalt subtrahiert werden. Danach wird der Fructosegehalt durch den Glucosegehalt dividiert (BAUMGARTNER et al., 2000).

Die Fructane werden zumeist in dafür spezialisierten Organen wie z.B. der Zwiebel gespeichert (ERNST, 1998) und machen den größten Teil der Trockenmasse der Zwiebeln (bis zu 65 % oder mehr) aus (DARBYSHIRE et al., 1997). BROUWER (1962) schätzt, dass ca. 80 bis 90 % der Trockenmasse aus Kohlenhydraten, Proteinen und Mineralstoffen besteht. Die gespeicherten Fructane werden beim Wiederaustrieb der Pflanzen verbraucht, wobei die Abnahme der Fructanmenge oft schon vor den Wachstumsprozessen bzw. auch schon während der Phase der Dormanz zu beobachten ist (RIETSEMA und SMEEKENS 2003 a; 2003 b). Während bei anderen Pflanzen auch Stärke als Polymer der Fructose gebildet wird, werden bei den Zwiebelgewächsen lediglich Fructane als Reservestoffe synthetisiert (DEY et al., 1985), wobei die grundsätzliche Aufgabe sowohl der Fructane als auch der Stärke die Speicherung von Kohlenstoff ist (RIETSEMA und SMEEKENS, 2003 b). Neben der Speicherfunktion ist auch der Schutz vor Kälte- und Trockenstress durch Fructane belegt (RIETSEMA und SMEEKENS, 2003 b).

Schwefelverbindungen

Für die Gattung *Allium* typisch sind die schwefelaktiven Verbindungen, die die Nutzung von *Allium ursinum* als Heil- und Gewürzpflanze begründen. Im Speziellen sind dies Cystein-Sulfoxide wie das Alliin (S-2-propenyl-L-cystein), das durch das Enzym Alliinase zu Allicin abgebaut wird (SCHMITT et al., 2005; DJURDJEVIC et al., 2003). Diese leicht flüchtige Verbindung entsteht nur bei Verletzung der Pflanzenzellen und sorgt für den charakteristischen, knoblauchähnlichen Geruch.

SENDL (1994) konnte in Bärlauchzwiebeln einen prozentualen Gehalt von 0,65 – 1,10 Alliin sowie 0,23 – 0,65 Allicin in der Trockenmasse und in Bärlauchblättern einen Gehalt von 0,30 – 0,95 Alliin und 0,11 – 0,20 Allicin in der Trockenmasse ermitteln. FROHNE (2002) konnte einen Allicin-Maximalgehalt von 0,07 % in der Trockenmasse nachweisen. Des Weiteren sind in Bärlauch neben Alliin noch die Sulfoxide Isoalliin, Methiin und Propiin in unterschiedlichen Mengen in den verschiedenen Pflanzenorganen nachweisbar, wobei Bärlauch zum Methiin/Alliin-Typ gezählt werden muss, da lediglich Spuren von Isoalliin und Propiin nachgewiesen werden konnten (SCHMITT et al., 2005). BLOCK et al. (1992) wiesen in diesem Zusammenhang ein Verhältnis von 50:49 (Allyl/Methyl) nach. Die Qualität und Quantität der schwefelhaltigen Substanzen haben entscheidenden Einfluss auf die therapeutische Wirkung sowie den Einsatz in der Nahrungsmittelindustrie. SCHMITT et al. (2005) ermittelten die höchsten Cystein-Sulfoxid-Gehalte mit 0,42 % in den Blättern des Bärlauch im März und konnten eine Abnahme auf bis < 0,1 % im Juni beobachten.

Stickstoff

Stickstoff ist der entscheidende Nährstoff für die Entwicklung und die Wachstumsprozesse in der Pflanze. Für den Frühjahrsgeophyten *Allium ursinum* sind die in der Zwiebel gespeicherten Nährstoffe essentiell für eine rasche Entwicklung zum Vegetationsbeginn, wobei dem Stickstoff als Grundbaustein der Proteine und Enzyme eine entscheidende Rolle im Stoffwechsel zu Teil wird. Die als Stickstoffzeiger eingestufte Art *Allium ursinum* bevorzugt nährstoffreiche, humose, sickerfeuchte Böden, deren pH-Wert im schwach sauren bis basischen Bereich liegt (TUTIN, 1957). Durch die Bildung kontraktile Wurzeln bei älteren Pflanzen wird die Zwiebel des Geophyten in Bodenschichten bis 15 cm Tiefe verlagert (RIMBACH, 1897). Das bereits zu Vegetationsbeginn ausreichend entwickelte Wurzelsystem trägt dazu bei, dass Nährstoffressourcen erschlossen werden können. Dazu zählt vor allem das Nitrat, welches bei steigenden Temperaturen im Frühjahr rasch aus organischer Substanz in der Humusaufgabe des Waldbodens mineralisiert wird und durch seine hohe Mobilität ausgewaschen werden kann. Während seiner kurzen Wachstumsphase von 2 - 3 Monaten finden innerhalb der Pflanze starke Umlagerungsprozesse statt. Untersuchungen von ERNST (1979) zeigen, dass die Blätter sehr hohe Nitratgehalte aufweisen und somit als Nitratspeicher dienen.

Zugleich stellt er dar, dass die Stickstoffmenge in Blättern adulter Pflanzen höher ist als bei Juvenilen.

Obwohl ein Nährstofftransfer gegen Ende des Wachstums in der Phase der Seneszenz vom Blatt in die Zwiebel stattfindet, bleiben erhebliche Mineralstoffmengen im abgestorbenen, oberirdischen Pflanzenteil zurück. Deren Mineralisation wird durch die Fraßaktivität vieler Collembolenarten beschleunigt, so dass sie den sommergrünen Pflanzen unmittelbar zur Verfügung stehen (JANDL et al., 1997).

2.5 Verwendung und Marktpotential

Allein in der Schweiz hatte Bärlauch im Jahr 2003 laut Untersuchungen der Universität Zürich ein Marktvolumen von 40 t (SCHLAGHECKEN, 2006). In 2001 wurden in Rumänien allein in dem Gebiet von Transsylvanien ca. 9 t Blätter (TM) geerntet (MICHLER, 2003).

In der BRD lag der Verbrauch pro Haushalt im Jahr 2005 bei ca. 0,36 kg Frischware pro Haushalt, was einem Gesamtvolumen von 131,4 t Frischmasse entsprach. Der durchschnittliche Preis lag dabei für den Endverbraucher bei 12 €/kg FM. Vergleicht man Bärlauch mit den gängigen Kräutern wie z.B. Petersilie o.ä., so liegt sein Anteil im gesamten Kräutersegment bei gerade einmal 1,5 %. Jedoch bescheinigen die Experten an den deutschen Großmärkten dem Bärlauch für die kommenden Jahre noch ein deutliches Entwicklungspotenzial (RAMPOLD, 2006).

Neben der Nutzung der Blätter als Gewürz in den verschiedensten Produkten wie z.B. Frischkäse, Pesto oder in Salat wird schon seit einiger Zeit die Eignung von Bärlauch in der Medizin untersucht. Schon Hildegard von Bingen schrieb dem Bärlauch „magische“ Kräfte zu (SCHLAGHECKEN, 2006). Alexander der Große beschrieb in dem Buch „*de capitulae*“ Bärlauch als anbauwürdige Pflanze in seinen Gärten. Die moderne Medizin prüft heutzutage u.a. die cardioprotective und Blutdruck senkende Wirkung bestimmter Wirkstoffe in *Allium ursinum* (RIETZ, 1993). SENDL (1994) wies weiterhin eine Hemmung der Thrombozytenaggregation nach, welche zur Hemmung von Herzinfarkten und thrombotischen Geschehnissen beiträgt. Den Cholesterin senkenden Effekt bei der Einnahme von Bärlauch führt SENDL (1994) auf die Hemmung der Cholesterinbiosynthese durch Folgeprodukte der Cysteinsulfoxide wie z.B. das *Allicin* zurück. RICHTER (2004) berichtet von Untersuchungen, welche den schwefelaktiven Stoffen des Bärlauch eine

Oxidationsschutzwirkung der Lipoproteine bescheinigen. Ebenfalls erwähnt er Untersuchungen zur Wirksamkeit von Bärlauchextrakt bei Bluthochdruck sowie den Einsatz von Bärlauch-Frischblattgranulat zur Behandlung von Darmpilzerkrankungen. Viele Großgärtnereien bieten inzwischen getopften Bärlauch bzw. frisch geschnittene Blätter, welche in den Kühltheken größerer Supermärkte zu finden sind, an.

2006 beschlossen die Firma Unilever Deutschland (heute Iglo) und die Universität Bonn ein gemeinsames Forschungsvorhaben zur Inkulturnahme von *Allium ursinum* L. Iglo, als einer der größten Hersteller von Tiefkühlkost, importierte bisher die für die Produktion benötigten Bärlauchblätter aus Osteuropa. Aufgrund der Unternehmensphilosophie, die die Nachhaltigkeit der erzeugten Produkte in den Focus stellt, will Iglo langfristig auf die naturbelastenden Wildsammlungen verzichten und den Bedarf durch selbstständig kultivierte Pflanzen decken. Somit kann das Bärlauch-Erntegut in einer Vielzahl von Produkten eingearbeitet, oder als einzelnes Würzkräut verkauft werden. Des Weiteren ist in zunehmenden Maß auch die Pharmaindustrie an dem vielseitigen Kräut und seinen Inhaltstoffen interessiert.

Lange Zeit galt Bärlauch als nicht kultivierbar (SENDL, 1995). Seit einigen Jahren erlebt die Pflanze jedoch eine Renaissance. Konsequenz ist also eine gezielte Inkulturnahme der Pflanze, um durch gerichtete Kulturführung etc. den Wert der Pflanze weiter zu erhöhen und eine quantitativ sowie qualitativ hochwertige Ware bereit zu stellen. Zusätzlich werden auf diese Weise auch die natürlichen Waldstandorte geschont.

Interessant ist, dass während der Saison Bärlauch z.B. als Topfware, als frisch geerntete Blattware in den Frischabteilungen der Supermärkte und mittlerweile auch als Saatgut kommerziell erhältlich ist. Zudem können Großabnehmer große Mengen an Bärlauchzwiebeln von den bekannten Sämereien vor allem aus dem süddeutschen Raum erwerben. Der Preis pro Zwiebel beträgt dann, in Abhängigkeit der Abnahmemenge 8 – 12 Eurocent je Zwiebel. Die angebotenen Zwiebeln und die lose Blattware stammen, nach eigenen Recherchen bei den Anbietern, ebenfalls aus (zertifizierten) Wildsammlungen. Die Herkunft der als Topfware angebotenen Pflanzen sowie des Saatgutes ist weitgehend unklar.

Umso erstaunlicher ist es, dass bisher keine Bemühungen unternommen wurden, die sich am Naturstandort rasant ausbreitende und von KEIL und LOOS (2003) als „invasiver Ergasiophygeophyt“ beschriebene Pflanze an geeigneten Ackerstandorten in Kultur zu nehmen.

Dabei steigt die Nachfrage und daraus resultierend die Anbaufläche für bereits kultivierte Arznei- und Gewürzpflanzen laut BOMME und NAST (1998) aus folgenden Gründen stetig an:

- Die Homogenität und Qualität des Erntegutes ist gesichert;
- Die Dokumentation des gesamten Produktionsprozesses ist gewährleistet;
- neueste Forschungsergebnisse auf dem Gebiet steigern die Nachfrage;
- Es ist eine gesteigerte Nachfrage auch nach regional erzeugten Produkten zu verzeichnen;
- Der Naturschutz tritt immer mehr ins öffentliche Interesse;
- Es findet eine Umorientierung in der landwirtschaftlichen Produktion z.B. aus Fruchtfolgeprobleme in den Betrieben statt.

Gleiches kann und wird auch für Bärlauch gelten.

BOMME (2007) befasste sich bisher als einziger mit Verfahren zur Inkulturnahme der Pflanze. Insbesondere ging er auf das Lichtbedürfnis von Bärlauch und die damit verbundene Synthese von wertgebenden Inhaltstoffen ein. Zudem beschäftigte er sich mit dem Problem der Verunkrautung in den angelegten Beständen. HEIDRICH (2007) befasste sich im Rahmen seiner Diplomarbeit bei Prof. Bomme mit der Brechung der Keimhemmung bei *Allium ursinum*.

SCHLAGHECKEN (2006) gibt in seiner Arbeit u.a. Tipps zur Inkulturnahme, wobei nicht ersichtlich wird, ob die Erkenntnisse aus der Literatur oder aus eigenen Forschungsarbeiten stammen.

Der Großteil der der Drogenrohwaren herstellenden oder verarbeitenden Betriebe sieht weiterhin den Bedarf intensiver Forschungen im Sektor der Inkulturnahme neuer Arten (FORSCHUNGSVEREINIGUNG DER ARZNEIMITTEL-HERSTELLER E.V., 2002).

2.6 Arbeitshypothesen

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit sollte die zurzeit nur aus Wildsammlungen stammende Pflanze *Allium ursinum* L. in den nachhaltigen, feldmäßigen Anbau überführt werden. In der Literatur wurde die Pflanze bereits von einigen Autoren beschrieben, jedoch fehlen bisher Untersuchungen zu der Machbarkeit der Inkulturnahme dieser, in den letzten Jahren in Medizin und Küche eine Renaissance erlebenden, Pflanze.

Aus diesem Grund ergaben sich für die hier vorliegende Arbeit folgende Arbeitshypothesen:

1. Schon geringfügige Veränderungen der Einstrahlungsverhältnisse am Naturstandort führen bei den Bärlauch-Pflanzen der unterschiedlichen Entwicklungsstadien zu Veränderungen der Einlagerungs- bzw. Bildungsprozesse von Stickstoff und Kohlenhydraten.
2. Durch eine gezielte Temperaturführung bei der Stratifikation von sowohl Samen als auch Zwiebeln kann eine Verkürzung der Dormanzphase erreicht werden. Durch den Kältereiz kann zusätzlich eine Steigerung der vegetativen Vermehrungsrate bewirkt werden.
3. Eine gezielte Erhöhung des N-Düngerangebots, orientiert am Pflanzenentzug, wirkt sich positiv auf den Ertrag in Form der Bildung der Blattfrischmasse aus.
4. Eine unter landwirtschaftlichen Bedingungen kultivierte Bärlauchpflanze benötigt zur optimalen Ertragsbildung eine Verminderung der Globalstrahlungsintensität.
5. Eine teilweise Beerntung aller Blätter einer Bärlauchpflanze, durch das Abschneiden in einer definierten Schnitthöhe, sichert die nachhaltige, mehrjährige Nutzung der Pflanzen.

3. ALLGEMEINE METHODEN

3.1 Bestimmung der Frisch- und Trockenmasse

Zur Bestimmung der Frischmasse (FM) wurden die Pflanzen nach der Entnahme für den Transport ins Labor in Kühlboxen zwischengelagert. Die Pflanzen wurden anschließend unter fließendem, kaltem Leitungswasser gründlich von noch anhaftender Erde befreit und danach mit Zellstoffpapier vorsichtig abgetrocknet. Nach weiteren fünf Minuten Lagerung, zum endgültigen oberflächlichen Abtrocknen der Pflanzen, wurden diese auf den Laborwaagen der Firma Mettler Toledo (einhundertstel Gramm Einteilung) gewogen. Je nach Verwendungszweck und benötigten Daten wurden die Pflanzen vorher mit einem Küchenmesser in die entsprechenden Pflanzensegmente zerschnitten.

Nach dem Wiegen wurden die Pflanzen bzw. Pflanzenteile nach Varianten getrennt in PE-Beutel verpackt und bei - 32 °C bis zur weiteren Verwendung tiefgefroren.

Zur Bestimmung der Trockenmasse (TM) wurden die tiefgefrorenen Beutel inklusive Inhalt gefriergetrocknet. Das standardisierte Verfahren der Gefriertrocknung erfolgte in Anlehnung an FRANKS, (1998), RATTI, (2001) und TSINONTIDES, et al. (2004) mit der Anlage Beta 1-8 K der Firma Martin Christ im INRES Institut für Gartenbauwissenschaft.

3.2 Bestimmung der Blattfläche

Zur Bestimmung der Blattfläche wurden die Blätter plan auf eine weiße Unterlage gelegt und mit der Kamera Lumix DMC-FZ7 der Firma Panasonic, welche unbeweglich auf einem Stativ befestigt war, fotografiert.

Zuvor wurde ein Rechteck bekannter Größe unter identischen Umständen und Einstellungen aufgenommen.

Die Fotos der Blätter konnten im Anschluss mit der Software Photoshop Elements 2.0 der Firma Adobe ausgewertet werden. Dazu wurde zuerst das fotografierte Rechteck aufgerufen und dessen Pixelzahl bestimmt. Aufgrund der bekannten Größe des Rechtecks und der ermittelten Pixelanzahl konnte ein Wert „Pixel pro mm²“ ermittelt werden, der aufgrund der beibehaltenen Kameraeinstellung auch für die Aufnahmen der Blattspreiten galt, und somit zur Umrechnung der Pixelanzahl der

Blattspreiten in die Blattfläche benutzt werden konnte (mündliche Mitteilung Dr. Torsten Krämer sowie KUNATH, 2006).

3.3 Nicht-invasive Chlorophyllmessung (SPAD – Messung)

SPAD ist die Abkürzung für Soil Plant Analysis Development. Das SPAD-502 der Firma Minolta ist ein Gerät zur nicht invasiven Messung des Chlorophyllgehalts von Blättern. Die Messung des Geräts beruht auf der Berechnung des Chlorophyllgehalts auf Grundlage der Absorption der Blätter in zwei spezifischen Wellenlängenbereichen bei 400 – 500 nm und 600 – 700 nm. Eine Silikon Photodiode empfängt das von zwei LED's ausgesandte Licht, welches durch das zwischen Sender und Empfänger eingespannte Laubblatt teilweise absorbiert wird. Der ermittelte Absorptionswert für das eingespannte Blatt ist proportional zu dessen Chlorophyllgehalt (vgl. <http://www.specmeters.com/pdf/2900.pdf> (2009); CARTELAT et al. (2005); HEOL und SOLHAUG (1998); LADHA et al. (1998)). Die Messung erfolgte immer mittig auf der rechten Blattspreitenseiten, wobei pro Blatt aus drei Messungen an der gleichen Stelle der Mittelwert, wie bei HOEL und SOLHAUG (1998) beschrieben, gebildet wurde. Die dimensionslosen Werte lassen, bei direktem Vergleich der Daten aus den unterschiedlichen Versuchsvarianten, Aussagen über die bei der Messung herrschende relative Chlorophyllsättigung der Blätter der verschiedenen Varianten zu. KUCKENBERG (2008) konnte für Winterweizen einen Korrelationskoeffizienten von $R^2 = 0,82$ für den mit DMSO ermittelten Chlorophyllgehalt und den mittels SPAD-502 gemessenen SPAD-Wert ermitteln.

3.4 Nicht-invasive Lab-Farbmessung

Die Lab-Farbmessung baut auf der Farbwahrnehmung des menschlichen Auges auf und ist sowohl nach der CIE-Norm standardisiert als auch geräteunabhängig. Der L-Wert gibt die Helligkeit der gemessenen Farbe wieder. Dabei beschreibt ein L-Wert von 100 die Farbe Weiß, ein L-Wert von 0 die Farbe Schwarz. Die a- und die b-Achse bilden eine gemeinsame Ebene (senkrecht zu dieser ist die L-Achse aufgetragen). Auf der a-Achse liegen alle Grün- und Rottöne, auf der b-Achse Blau- und Gelbtöne. Ein negativer a-Wert beschreibt eine grüne Farbe, ein positiver a-Wert beschreibt hingegen eine rote Farbe. Blaue Farbtöne werden durch negative b-Werte charakterisiert, Gelbtöne durch positive b-Werte. So kann man jedem Wert bzw.

jeder Wertekombination (auch ohne Miteinbeziehen der L-Werte) eine konkrete Farbe zuordnen (Abb. 8).

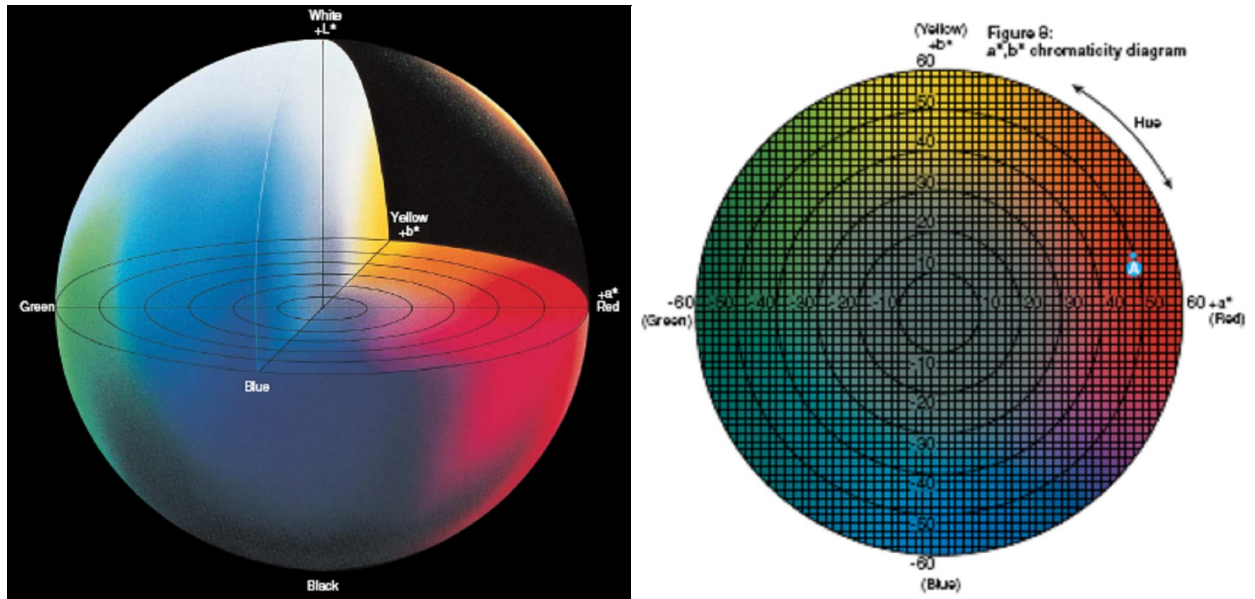


Abb. 8: Lab-Farbraum dreidimensional; Lab-Diagramm ohne L-Achse.
www.Konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf.

In diesem Versuch wurde des Fotospectrometer cmd 502 der Firma Konica Minolta Sensing, Inc. nebst der dazu gehörigen Software Spectramagic zum Auslesen der Daten benutzt. Weitergehende Informationen zur Messtechnik finden sich bei www.Konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf der Firma Konica Minolta Sensing, Inc.

3.5 Bestimmung der nichtstrukturellen, wasserlöslichen Kohlenhydrate

3.5.1 Aufbereitung der Proben

Die Pflanzenproben wurden bei allen Versuchen nach dem gleichen Muster gezogen: In den frühen und kühlen Morgenstunden wurden die Pflanzen aus den Versuchen im Gewächshaus und im Freiland entnommen und für den Transport ins Labor (auf dem Versuchsgelände) in einer Kühlbox zwischengelagert. Die Proben wurden wie auch bei der Bestimmung de FM und TM von anhaftender Erde und sonstigen Anhaftungen befreit. Die Pflanzen wurden je nach Verwendung in ihre Kompartimente getrennt und in PE-Beutel luftdicht verpackt und sofort im Anschluss bei -32 °C gelagert. Die so gelagerten Proben wurden zur Bestimmung der wasserlöslichen Kohlenhydrate (WSC) sowie des Fructangehalts zeitnah mit der

Anlage Beta 1-8 K der Firma Martin Christ gefriergetrocknet; eine Trocknung bei 105 °C hätte den Fructosegehalt in den Proben verändert (LAIDLAW et al., 1952; RAGUSE et al., 1965 in DEY et al., 1985). Von den getrockneten Proben wurde mit Hilfe einer Feinwaage (tausendstel Gramm Genauigkeit) die TM bestimmt.

Die so getrockneten Proben wurden mit einer Kugelschwingmühle der Firma Retsch (MM 2000) für eine Minute staubfein gemahlen und dabei gleichzeitig homogenisiert. Die gemahlenen Proben wurden wiederum in PE-Beuteln luftdicht in einem Exsikkator gelagert.

Die Bestimmung des Fructosegehalts der Proben erfolgte in zwei Schritten: zuerst wurden die wasserlöslichen Kohlenhydrate Saccharose, Glucose und Fructose bestimmt, danach wurden dieselben Proben noch einmal einer sauren Hydrolyse unterzogen, um die Fructane in ihre Bestandteile (Glucose und Fructose) aufzuspalten. Im Nachhinein wurde dann aus der Differenz der einzelnen Zucker die Fructanmenge bestimmt.

3.5.2 Aufschluss der Mono- und Disaccharide

Von den gemahlenen Proben wurden jeweils 0,2 g in Zentrifugengläser eingewogen, mit 5 ml bidestilliertem Wasser aufgefüllt und mit einem Vortex-Mixer aufgeschüttelt. Die Probengefäße wurden mit Glasgugeln verschlossen und für eine Stunde bei 60 °C im Wasserbad aufgeschlossen. Nach 30 min wurden die Proben noch einmal aufgeschüttelt. Nach der Inkubation wurden die Proben auf Zimmertemperatur abgekühlt und zurückgewogen. Die Proben wurden in einer Zentrifuge (Vario Fuge) für 15 min bei Zimmertemperatur und 4.000 U/min zentrifugiert. Der Überstand wurde vorsichtig in Einmalspritzen dekantiert und durch Einmal-Cellulose-Acetat-Vorsatzfilter mit einem Porenvolumen von 45 µm filtriert. Mit einer Pipette wurden jeweils 1.000 µl in Vials gefüllt, welche dann mit einer Septe verschlossen auf den Autosampler der HPLC gestellt werden konnten (vgl. Anleitung zur Kohlenhydratbestimmung mit dem HPLC: INRES - Gartenbauwissenschaft).

3.5.3 Fructanaufschluss

Bei der Bestimmung des Fructosegehalts der Proben werden die Fructane durch die Zugabe einer Säure in ihre Grundbausteine (Glucose und Fructose) aufgespalten.

Als Säure bietet sich in diesem Fall die organische Oxalsäure (Dicarbonsäure) an, die in einer Konzentration von 0,1 mol eingesetzt wurde.

Für den Aufschluss wurden jeweils 0,1 g Probenmaterial in Zentrifugengläser eingewogen und mit 5 ml Oxalsäure versetzt, mit einem Vortex-Mixer aufgeschüttelt, mit Glaskugeln verschlossen und für drei Stunden bei 100 °C im Wasserbad inkubiert; nach der Hälfte der Zeit wurden die Proben nochmals aufgeschüttelt.

Anschließend wurden die Proben wie schon bei den WSC beschrieben zentrifugiert, membranfiltriert und im Anschluss in 1 ml Vials (passend für den Autosampler) überführt.

In den Proben, sowohl bei der WSC- als auch bei der Fructanbestimmung sollen die drei Moleküle Saccharose, Glucose und Fructose mittels HPLC nachgewiesen werden.

Um eine Kalibrierkurve zu erstellen wurden 10 prozentige Zuckerstammlösungen angesetzt, indem jeweils 2,5 g reine Saccharose, Glucose und Fructose in einem Erlenmeyerkolben mit 22 °C warmen, destillierten Wasser zu 25 ml aufgefüllt wurden. Aus diesen Stammlösungen wurde dann für jeden HPLC-Lauf eine Verdünnungsreihe hergestellt. Zu beachten ist bei solch einer Eichreihe, dass sie so gewählt wird, dass die erwarteten Messwerte der Proben im Spektrum der Eichkurve liegen.

3.5.4 Aufbau und Wirkungsweise der HPLC

HPLC ist die Abkürzung für High Performance Liquid Chromatographie und ist eine Form der Flüssig-Fest-Chromatographie, in der die mobile Phase flüssig und die stationäre Phase fest ist. Das Trennungsprinzip beruht auf der Tatsache, dass die Bestandteile der zu analysierenden Flüssigkeit, die von der mobilen Phase durch die in der Trennsäule befindliche feste Phase gespült wird, unterschiedliche Zeiten benötigen, bis sie die Säule durchlaufen haben und schließlich an einem nachgeschalteten Detektor erfasst werden können.

Die Anlage ist darauf ausgelegt mit hohen Systemdrücken arbeiten zu können, was den Vorteil mit sich bringt, dass sich die Durchflusszeit der Proben durch die Säule drastisch reduziert. Neben dem Systemdruck sind auch die Flussmenge des Eluenten, die Temperatur der Säule sowie die genauestens einzuhaltenden Temperatur des Refractometers von entscheidender Bedeutung für die Präzision und Nachverfolgbarkeit der Messungen.

Die verwendete Anlage steht im Institut INRES - Gartenbauwissenschaft der Universität Bonn und setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- 1) Die HPLC-Pumpe, Fa Hewlett-Packard/Agilent Series 1100
- 2) Autosampler, Fa. Kontron Instruments, Autosampler Micro HPLC 360
- 3) Säulenofen
- 4) Säulen: Vorsäule 40 * 8 Carbohydrate Ca^{2+} ; Hauptsäule 300 * 8 Carbohydrate Ca^{2+} Fa. CS-Chromatographie Service GmbH
- 5) Differential Refractometer, Fa. Knauer
- 6) Wasserbad, Fa. Haake DC1/B3

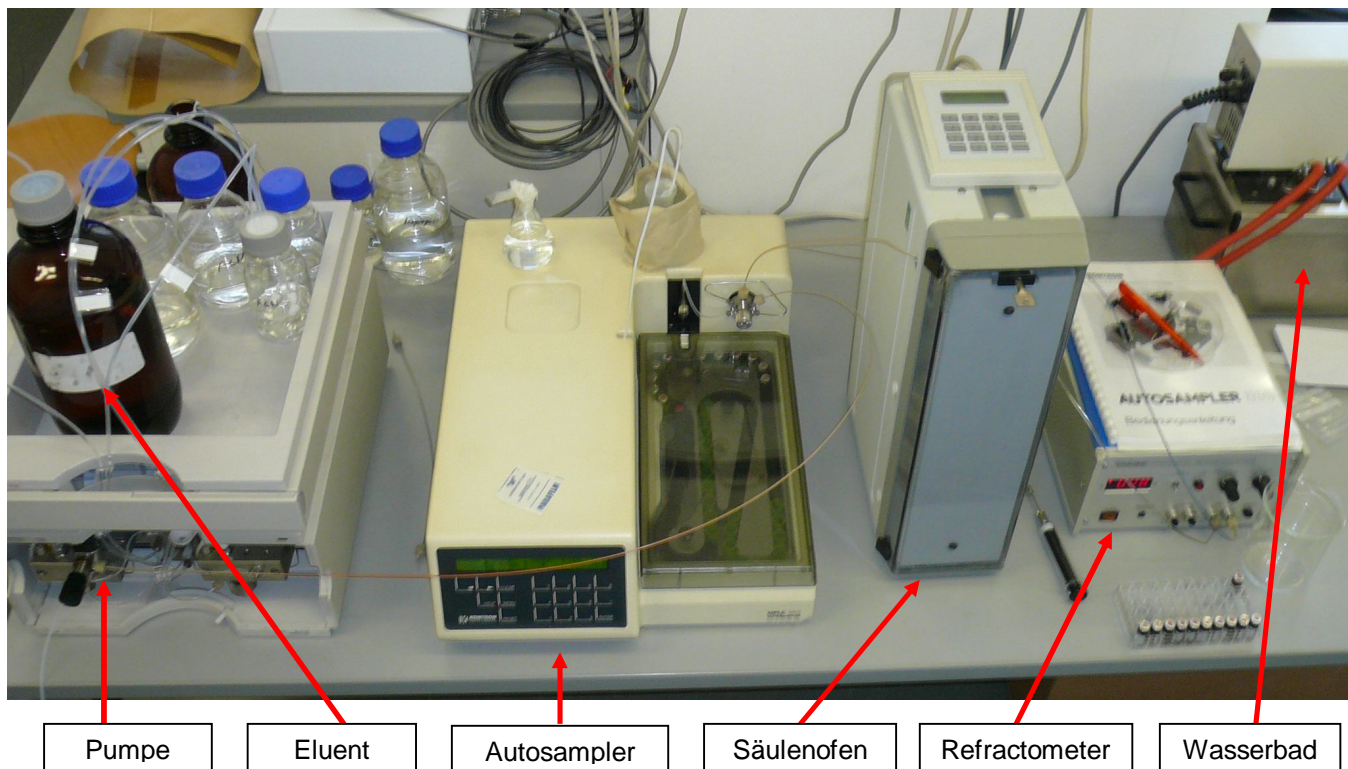


Abb. 9: Einzelne Komponenten der HPLC-Anlage im Institut INRES - Gartenbauwissenschaft der Universität Bonn.

Als Eluent dient bidestilliertes Wasser, welches mit dem Filtersystem der Fa. Millipore hergestellt wird. Da der Anlage kein automatischer Degaser vorgeschaltet ist, wird das bidestillierte Wasser vor jedem Messdurchgang mit einer Vakuumpumpe über einen 0,2 μm Filter entgast. Bei den Messungen arbeitet die Pumpe mit einer Flussmenge von 0,6 ml/min; der Autosampler, der insgesamt 65 Proben fasst, injiziert ein Probenvolumen von 5 μl in die Probenschleife. Der Säulenofen hält die Säulentemperatur exakt auf 80 °C, das Refractometer wird konstant bei einer Temperatur von 40 °C betrieben. Schon die geringste Veränderung eines Wertes der

Anlage führt unweigerlich zu einer Änderung der Messung, welche sich z.B. in einer Verschiebung der Proben-Peaks im Chromatogramm widerspiegelt.

3.6 Bestimmung der stickstoffhaltigen Verbindungen

Die Proben zur Stickstoffbestimmung wurden mit einem NA 1500N Elementaranalysator der Firma Carlo Erba über eine Fisons Säule und Stickstoff analysiert. In einem ersten Schritt wurden je 2 g der gefriergetrockneten Pflanzenproben nochmals für 12 Stunden in einem mit 105 °C beheiztem Ofen getrocknet. Im Anschluss erfolgte die Einwaage von 10 -15 mg Probenmaterial in Zinncups. Die verpackten Proben werden zunächst unter Sauerstoffzufuhr im Verbrennungsrohr zu CO₂, NO_x und H₂O oxidiert. Als Transportmittel für die entstandenen Gase dient das Edelgas Helium. Danach erfolgen der Wasserentzug und die Reduktion zu elementarem N₂. In der mit Chromosorb befüllten chromatographischen Säule erfolgt die Trennung von Kohlendioxid und elementarem Stickstoff aufgrund deren unterschiedlicher Ladungseigenschaften. Die quantitative Erfassung der beiden Gase geschieht durch einen Wärmeleitfähigkeitsdetektor. Es fand eine Doppelbestimmung pro Probe statt aus der dann der Mittelwert als endgültiges Ergebnis in Prozent-N des Pflanzenmaterials errechnet wurde.

3.7 Statistische Auswertung

Alle erhobenen Daten wurden mit der Software SAS 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, USA) verrechnet.

Die sich der varianzanalytischen Auswertung anschließenden Mittelwertsvergleiche wurden mit einer angenommenen Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % mit Hilfe des Tukey-Tests bzw. des Bonferroni-t-tests geprüft.

Signifikanzen sind durch lateinische Buchstaben im Diagramm gekennzeichnet. Darstellungen mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

Die Standardabweichung der Stichprobe (SD) beschreibt die Streuung der Messwerte um ihren Mittelwert und wird mit Hilfe der Fehlerbalken in den Abbildungen dargestellt.

Zur Darstellung der statistischen Auswertungen wurde das Programm Microsoft Excel 2003 verwendet.

4. ANLAGE, ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER VERSUCHE

4.1 Grundlegende Erkenntnisse aus Untersuchungen am Wildstandort Schloßtal

4.1.1 MATERIAL UND METHODEN

Grundvoraussetzung für die Realisierung einer Inkulturnahme von Bärlauch ist das vollständige Verständnis der Pflanze ausgehend von deren Beschreibung an ihrem natürlichen Standort. Wie auch schon SCHMUCKER und DRUDE (1934) in ihrer Arbeit über die Verbreitungsgesetze von Pflanzen herausfanden, ist es schwer, ein bestimmtes Habitat als den „Ideal-Standort“ zu charakterisieren.

Vergleiche zwischen Standorten mit dichtem Bärlauchaufwuchs und ohne Bärlauchbewuchs zeigten bei den Untersuchungen oftmals weniger signifikante Merkmalsunterschiede als der Vergleich zweier mit Bärlauch bewachsener Flächen.

Nur wenige Gemeinsamkeiten der Standorte scheinen allgemeingültig zu sein wie z.B. die sehr allgemeine Beschreibung des Habitats in der gemäßigten Klimazone Europas (GRIME et al., 1988). SENDL (1995), die die Pflanze für nicht kultivierbar hält beschreibt die Standortansprüche für Bärlauch als nährstoffreiche Böden an schattigen, feuchten Plätzen vornehmlich unter Laubbäumen in Europa und Nord Asien. Allgemeine Aussagen über den Habitus, die Pflanzenentwicklung und -vermehrung sowie über zahlreiche chemische und physikalische Standortbedingungen lieferten bereits unter anderen TUTIN (1957), ERNST (1979) und speziell für die Kalkeifel FELINKS (1991) sowie STRIEPEN (1991).

In diesem Abschnitt soll ein „typischer“ Wildstandort in der Eifel in direkter Nähe zu dem Dorf Schloßtal beschrieben werden, der exemplarisch für eine Vielzahl von, in den unterschiedlichsten Standortfaktoren variierenden, Habitaten steht. Der Standort wurde als Versuchsstandort ausgewählt, da er einen, für diese Gegend, typischen Standort vor allem in Hinblick auf die dort herrschenden edaphischen und klimatischen Standortfaktoren darstellt.

Die durch die Untersuchungen am Naturstandort generierten Daten können helfen, grundlegende Aussagen über Standortansprüche und Faktoren, welche das Vorkommen von Bärlauch ermöglichen oder ausschließen zu identifizieren. Das auf diese Weise generierte Wissen kann dann im Folgenden bei der Inkulturnahme dazu benutzt werden, Standortbedingungen, ähnlich denen am natürlichen Wildstandort zu

schaffen, und damit der Pflanze die besten Voraussetzungen für ein Wachstum am Kulturstandort zu bieten.

4.1.1.1 Standortbeschreibung

Das Untersuchungsgebiet nahe der Ortschaft Schloßtal liegt in der Kalkeifel. Die Muldenfläche und die mergeligen Randbereiche werden im Vergleich zu den forstwirtschaftlich interessanten Sätteln landwirtschaftlich genutzt, so dass die natürliche Vegetation des Buchenwaldes zumeist nur noch auf den landwirtschaftlich bzw. forstwirtschaftlich uninteressanten Flächen zu finden ist (BAUER, 1994).

Die dominierende Bodenart kann als schluffiger bis toniger Lehm angesprochen werden (MÜCKENHAUSEN, 1951). Standorte mit *Allium ursinum* befinden sich meist auf mittel bis sehr tief entwickelten Braunerden und Kalkbraunerden (STRIEPEN, 1991). Die Bodenaufgabe setzt sich aus der Humusform Mull zusammen, die sich in Böden mit hohen Nährstoffgehalten sowie günstigen Luft- und Wasserverhältnissen aus dem raschen Abbau der Streu bildet (SCHACHTSCHNABEL, 1992).

Der untersuchte Bärlauchbestand liegt in der 63 km² großen Dollendorfer Kalkmulde unterhalb der Ortschaft Schloßtal.

Das Untersuchungsgebiet liegt auf 395 bis 410 m über NN. Die Ausbreitung der mit Bärlauch bewachsenen Fläche erstreckt sich auf einer nordöstlichen dem Ahrtal und nordwestlichen dem Lampertstal zugeneigten Hanglage, was der bevorzugten Exposition von Bärlauch-Beständen entspricht (SCHMUCKER und DRUDE, 1934; FELINKS, 1991). Innerhalb des großflächigen Gebietes wechseln vereinzelte Plateaus und Hänge mit bis zu 15° Neigung.

Die bärlauchreichen Buchenwälder lassen sich in die Klasse der Querco-Fagetea und die Assoziation Hordeymo-Fagetum mit der Kennart *Hordelymus europaeus* syntaxonomisch eingliedern, wobei *Allium ursinum* als weitere Differenzialart genutzt wird (DIERSCHKE, 1989).

Der bärlauchreiche Kalkbuchenwald am Untersuchungsgebiet befindet sich in seiner Terminalphase mit einem durchschnittlichen Alter zwischen 80 und 100 Jahren. Die Strauchschicht ist bis auf wenige Stellen sehr gering entwickelt. Zahlreiche Jungpflanzen von *Acer pseudoplatanus* und *Fraxinus excelsior* sind in der üppigen Krautschicht des Waldes zu finden. Durch Windbruch und forstwirtschaftliche Maßnahmen ergeben sich, unabhängig von den an diesen Flächen wirkenden

biotischen und abiotischen Beeinflussungen, Standorte mit unterschiedlich starker Baumdichte.

Die den Boden ab dem Frühjahr bedeckende Krautschicht setzt sich aus zahlreichen nährstoff- und wasserbedürftigen Arten wie *Primula elatior*, *Lonicera xylosteum* und *Aconitum vulparia* zusammen, die als Zeigerarten fungieren. Nach FELINKS (1991) und STRIEPEN (1991) ist der Standort demnach der *Primula elatior*-Variante zuzurechnen.

Das Klima in der nördlichen Eifel ist als kühlfeuchtes Bergklima einzustufen. Der Einfluss ozeanischer Luftmassen bewirkt ein schwach atlantisches bis subatlantisches Klima (BÖHM, 1964). Die jahreszeitliche Abfolge wird geprägt durch milde Winter und nicht zu heiße Sommer, so dass die Jahresschwankungen der Lufttemperatur unter 16°C liegen. Die jährlichen Niederschlagsmengen betragen im Durchschnitt zwischen 700 mm und 800 mm (FELINKS, 1991).

Bodenchemische und –physikalische Eigenschaften

Die Bodenproben wurden zur Analyse an die LUFA geschickt und dort unter standardisierten Bedingungen auf die einzelnen Prüfgrößen getestet.

Zusätzlich wurde der mineralische Stickstoff in Form von $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ nach der Methode A. 6.1.4.1 des Methodenbuchs 2002 der LUFA in den Laboren der INRES-Institute der Universität Bonn ermittelt.

Im Vergleich der Standorte S1 sowie S2 und S3 (Mischprobe aus S2 und S3, da diese in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander liegen) über den Versuchszeitraum hinweg zeigt sich, dass am Standort S1 mit bis zu 46 kg N/ha Stickstoff in Form von Nitrat, und bis zu 21 kg N/ha in Form von Ammonium-N vorlag, wohingegen an den Standorten S2 und S3 mit 22 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ und <1 kg $\text{NH}_4\text{-N/ha}$ deutlich weniger Stickstoff zu finden war, was auch den dort deutlich schwächeren Wuchs der Pflanzen im Vergleich zu denen an Standort S1 erklärt (siehe Tab. 1).

Der durchschnittliche pH-Wert an den Standorten S2 und S3 lag zwischen 5 und 5,9, nach TUTIN (1957) an der unteren Grenze des Toleranzbereichs für die Bärlauchpflanzen. Die Gehaltsklassen der Makronährelemente P_2O_5 und K_2O (anlehnend an die Einteilung der Gehaltsklassen nach LAD (HSG., 2002)) konnten für die Standorte S2 und S3 in die Stufen A bzw. B (also unter der als optimal versorgten Stufe C) zusammengefasst werden. Lediglich Mg lag in der Gehaltstufe E vor, was vermutlich auf das vulkanische Ausgangsgestein zurückzuführen ist (Tab. 2). Die in Tab. 1 dargestellten N-Gehalte der Bodenschicht bis 30 cm für die

Standorte S2 und S3 lagen auf einem niedrigen Niveau, spiegelten aber nur den zur Zeit der Messung im Boden befindlichen freien Stickstoff wider, in dem die Entnahmen der Pflanzen schon eingegangen waren. Zusätzlich stellte der stark humose Boden mit dem teilweise mächtigen A_h-Horizont einen beträchtlichen und schnell zur Verfügung stehenden Nährstoffpool dar, sodass eine Unterversorgung der Pflanzen in der Vegetationszeit auszuschließen ist.

Tab. 1: Bodenanalyse (0 – 30 cm, LUFA) des bärlauchreichen Standortes S1 sowie der Flächen S2 und S3 (Mischprobe aus S2 und S3) während des Versuchszeitraumes im Jahr 2006, (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Parameter	Messmethode	Einheit	29. Apr		21. Mai		11. Jun		04. Jul	
Standort			S1	S2, S3	S1	S2, S3	S1	S2, S3	S1	S2, S3
Nitrat	LUFA	kg/ha	33	6	25	5	46	5	22	4
Ammonium	LUFA	kg/ha	24	<1	13	<1	21	<1	6	<1
pH	CaCl ₂		7	5,7	7	5	7	5,9	6,9	5,1
P ₂ O ₅	CAL-Extraktion	mg/100g	5	3	4	2	5	3	4	3
K ₂ O	CAL-Extraktion	mg/100g	12	4	9	4	16	5	9	5
Mg	CaCl ₂	mg/100g	75	49	77	42	70	58	72	44
Humus	Veraschung	%	12,5	5,6	11,4	5	12	6,9	10,2	5,8
Gesamt – N	Veraschung	%	0,52	0,22	0,52	0,22	0,52	0,28	0,45	0,24
Gesamt – C	Veraschung	%	7,2	3,2	6,6	2,9	7	4	5,9	3,3

4.1.1.2 Versuchsdauer und -durchführung

Der Versuchszeitraum für den Standort Schloßtal erstreckte sich über drei Monate vom 29. April 2006 und endete mit der vollständigen Seneszenz der Pflanzen am 27. August 2006

Die Auswahl der zu beprobenden Versuchsflächen erfolgte, nachdem die Pflanzen schon oberirdisch zu erkennen und zu identifizieren waren. Zur Bestimmung des Einflusses der eintreffenden Strahlung wurden die Versuchsflächen (S1, S2 und S3) anhand der unterschiedlichen Baumdichten ausgewählt. Ein weiterer Standort S4, welcher auf einer nahe zu den anderen drei Versuchsflächen gelegenen Lichtung lokalisiert war, diente als Referenzmessstelle für die eintreffende Einstrahlung an einer vollkommen unbeschatteten Fläche. Zur Ermittlung des Einflusses der Globalstrahlung auf die Nährstoffflüsse wurden zwei 10 x 10 m große Versuchsflächen S2 und S3 in westlicher Richtung von S1 an unterschiedlich stark bewaldeten Stellen angelegt. Die Größe der Einheiten ergab sich aus den mosaikartigen Belichtungsunterschieden im Bestand. Die Standorte S2 und S3 lagen ca. 25 m voneinander entfernt auf gleicher Hanghöhe und stockten beide auf einer

Braunerde mittlerer Entwicklungstiefe. Auf diesen Flächen dominieren im Vergleich zu S1 kleinwüchsige *Allium*-Pflanzen.

Die Messung der einwirkenden Globalstrahlung wurde innerhalb des Versuchszeitraums in den Monaten Mai, Juni und Juli jeweils einmal durchgeführt.

Neben den eigentlichen Untersuchungen an den Pflanzen hinsichtlich der Ertragsparameter (FM und TM) und deren Inhaltsstoffen (Kohlenhydrate und stickstoffhaltige Verbindungen) wurden zusätzlich Daten zum Lichteinfall in die Bestände (PAR sowie UV-A und UV-B mittels Optometern mit Triple-Head Messköpfen der Firma Gigahertz Optik), Bodenanalysen (LUFA) erhoben.

Auf der Fläche S1 wurden Pflanzen entnommen, um an ihnen Untersuchungen hinsichtlich der Nährstoffflüsse in den Pflanzen verschiedener Entwicklungsstufen durchzuführen. Der Bestand an S1 stellt sich als kräftiger Bestand mit großwüchsigen Bärlauchpflanzen dar, die auf einer gut entwickelten Kalkbraunerde stehen (KLINKHAMMER, 2007).

Im Versuchszeitraum wurden alle 7 – 14 Tage Pflanzenproben entnommen und die bereits oben beschriebenen Daten erhoben. Die Pflanzen wurden bei der Probennahme klassifiziert und für die weiteren Untersuchungen in die phänologischen Entwicklungsstufen unterteilt (vgl. Abb. 10).

Probennahme

Die Entnahme der Pflanzen- und Bodenproben erfolgte parallel, so dass unnötige Belastungen des trittempfindlichen Geophyten *Allium ursinum* vermieden wurden. Zudem wurden zum Erreichen der Beprobungsflächen immer die gleichen Wege genutzt. Insgesamt wurde die Dauerversuchsfläche S1 zu folgenden Terminen im Jahr 2006 beprobt: 29.04, 08.05, 14.05, 21.05, 27.05, 04.06, 11.06, 17.06, 04.07. Eine weitere Pflanzenentnahme, ausschließlich in Form von Zwiebeln, erfolgte am 27. August nach dem vollständigen Einziehen der oberirdischen Biomasse in der Phase der Sommerruhe des Bärlauchs. Für die Analyse der Stoffverlagerung relevant sind die Messtermine ab dem 4. Juni bis zum 27. August.

Die Pflanzen- und Bodenentnahme an den Standorten S2 und S3 wurde parallel zur Messung der Globalstrahlung am 12.05, 09.06 und 03.07.2006 durchgeführt. Beprobt wurden ausschließlich adulte, blühende Pflanzen, welche den Hauptanteil des Bestandes repräsentierten.

Die Standorte S2 und S3 mit unterschiedlich starkem Lichteinfall in die Flächen dienen der Klärung der Versuchsfrage des Einflusses der eintreffenden

Globalstrahlung an einem natürlichen Standort auf die Pflanze und deren Stickstoff und Reservestoffbildungs- und umlagerungsprozesse.

4.1.1.3 Entwicklungsstadien der *Allium ursinum* Bestände

Das oberirdische Wachstum von *Allium ursinum* begann am untersuchten Standort in der Nähe der Ortschaft Schloßtal ab Mitte März, als die ersten Pflanzen den Boden unterhalb der Streu in Form eines umhüllten Laubblattes durchbrachen. Zu diesem Zeitpunkt war der Boden im Jahr 2006 noch von einer dünnen Schneedecke überzogen.

Wie die Abb. 10 zeigt, sind alle Blätter des Bärlauchs bei der Auswahl der Versuchsflächen am 15. April 2006 sichtbar und die geschlossene Blüte ist bereits an einem bis zu 5 cm langen Blütenstiel heraus geschoben. Innerhalb des folgenden Monats schließen sich die Bestände vollkommen und die Blüte beginnt sich zu öffnen.



Abb. 10: *Allium*-Bestände unterschiedlicher Entwicklungsstadien am Standort S1 in chronologischer Reihenfolge am 15.04 (A), 21.05 (B), 04.06 (C), 11.06 (D), 17.06 (E) und 04.07. 2006 (F). Zu jedem Termin sind die Blüten separat in einem rechts oben angeordneten Teilbild dargestellt, (KLINKHAMMER, 2007).

Ab dem 04. Juni beginnt die Betrachtung der Stoffbewegungen innerhalb der Bärlauch-Pflanze. An diesem Termin war die Vollblüte erreicht, welche schon eine Woche später am 11. Juni vom Stadium der Befruchtung abgelöst wurde. Hierbei wurden erste Anzeichen einer seneszenten Entwicklung an den Spitzen der Laubblätter deutlich.

Dem Stadium der Samenbildung am 17. Juni folgte das der Samenreife am 04. Juli. Zu diesem Entwicklungszeitpunkt war die Seneszenz weit fortgeschritten, die

Mehrheit der Blätter war abgestorben, der Blütenstiel waren umgeknickt und die Samen wurden aus den Kapseln entlassen (vgl. Kapitel 4.2).

4.1.2 ERGEBNISSE

4.1.2.1 Bodennah einwirkende PAR in den Versuchsparzellen

Eine verringerte Einstrahlung ist an S3 aufgrund des dichteren Baumbestandes bereits am 12. Mai ersichtlich. Bei der letzten Messung am 03. Juli ist deutlich zu erkennen, dass an den beiden beschatteten Standorten S2 und S3 die Einstrahlung auf den Waldboden deutlich abgenommen hat, während die Messwerte auf der Referenzfläche im gleichen Zeitraum um fast das 25 fache gestiegen sind. Weiterhin ist erkennbar, dass die Messwerte (auf sehr niedrigem Niveau) der beiden Standorte sich bei den beiden letzten Messungen immer weiter angleichen.

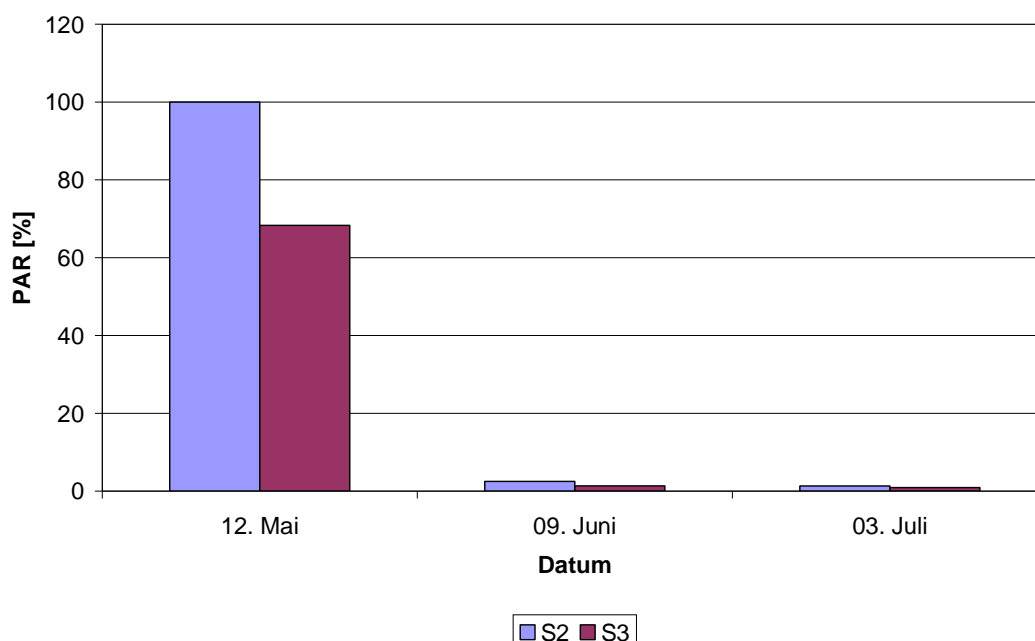


Abb. 11: Zeitlicher Verlauf der bodennah einwirkenden PAR (in Relation zur Referenzmessung auf einer freien, unbeschatteten Lichtung = 100 %) in einem Kalkbuchenwald nahe der Ortschaft Schloßthal mit bärlauchreichen Standorten unterschiedlicher Baumdichte (S2) und (S3) in 2006. Gemessen wird die PAR zum Entwicklungsstadium der noch geschlossenen Blüten (12. Mai), der Befruchtung (09. Juni) und der Samenreife (03. Juli), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

4.1.2.2 Zunahme der Trockenmasse der Überdauerungsorgane bei erhöhter Lichteinstrahlung

Während der Entwicklungsphase der noch geschlossenen Blüten (12. Mai) bis hin zur Samenreife am 03. Juli ist an beiden Standorten S2 und S3 grundsätzlich der gleiche Entwicklungsverlauf der Zwiebel- und Blatttrockenmasse, jedoch auf unterschiedlichen Niveaus, zu beobachten.

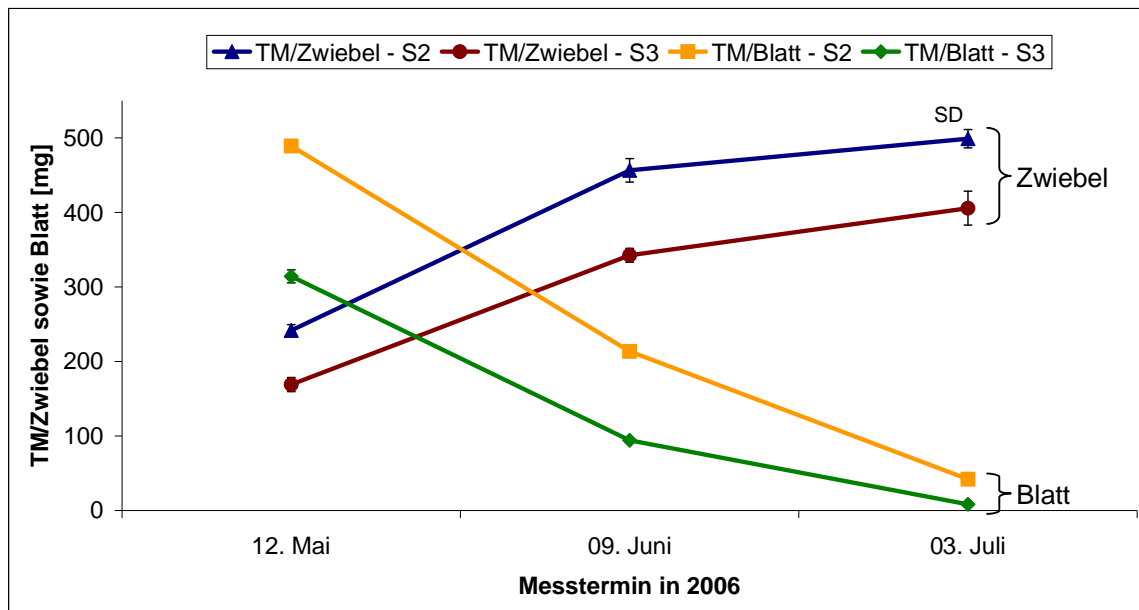


Abb. 12: Zeitliche Veränderung der Trockenmasse in einer durchschnittlichen Zwiebel und einem durchschnittlichen Blatt von zweiblättrigem *Allium ursinum* in einem Kalkbuchenwald nahe der Ortschaft Schloßtal mit bärlauchreichen Standorten unterschiedlicher Baumdichte (S2) und (S3) zum Entwicklungsstadium der noch geschlossenen Blüten (12. Mai), der Befruchtung (09. Juni) und der Samenreife (03. Juli) in 2006, (verändert nach KLINKHAMMER, 2007). SD = Standardabweichung.

Während die Blatttrockenmasse mit zunehmender Dauer bis zur vollkommenen Seneszenz (nicht mehr in der Abbildung dargestellt) sinkt, nimmt die Trockenmasse der Zwiebeln über denselben Zeitraum deutlich zu. Sowohl für die Blatt- wie auch für die Zwiebeltrockenmasse ist zu allen Zeitpunkten die Trockenmasse der Pflanzen des Standortes mit geringerer Baumdichte S2 deutlich höher als die der Pflanzen des stärker beschatteten Standortes S3. Zum Ende der Messreihe und bei fast vollständig abgeschlossener Seneszenz beträgt die Differenz der Zwiebeltrockenmassen der beiden Standorte mit 93 mg Trockenmasse mehr als 20 % (Abb. 12). Zugleich wird deutlich, dass nicht die gesamte Trockenmasse des Blattes in die Zwiebel umverlagert wird.

4.1.2.3 Stickstoffdynamik in Blättern und Zwiebel während der Seneszenzphase

Die Gehalte an Stickstoff zeigen vor allem in den Blättern über den Entwicklungsverlauf der Seneszenz in allen Entwicklungsstadien einen recht uneinheitlichen Verlauf. Auffällig ist jedoch der schon erwähnte geringere (aber nicht signifikante) N-Gehalt der Blätter der Juvenilpflanzen mit Ausnahme am 17. Juli.

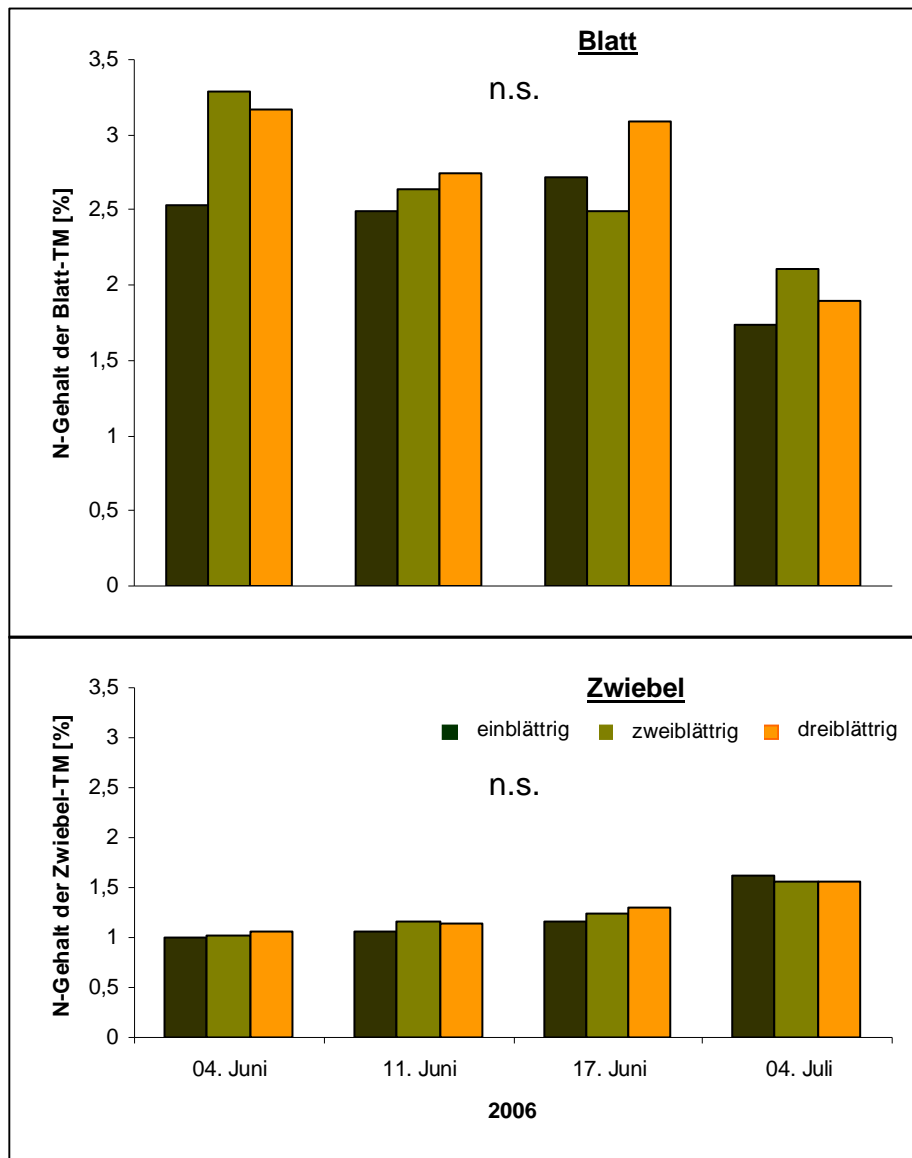


Abb. 13: Stickstoffgehalt in der Blatt- und Zwiebeltrockenmasse der verschiedenen Altersstufen des *Allium ursinum* zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni) und Samenreife (04. Juli) am Standort Schloßtal in 2006. Signifikanzen (n.s.) innerhalb der Pflanzenentwicklungsstufen und zwischen den Terminen geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Grundsätzlich ist eine Abnahme der N-Gehalte in den Blättern mit zunehmender Seneszenz zu beobachten. Die N-Gehalte der Zwiebeln der verschiedenen Altersstufen liegen zu jedem der vier Probennahmeterminen sehr eng beieinander, jedoch ist an jedem Termin der absolute N-Gehalt wesentlich geringer als in den

Blättern zum gleichen Zeitpunkt. Beim N-Gehalt in den Zwiebeln ist, gegensätzlich zu den Beobachtungen bei den Blättern, eine Zunahme des Stickstoffs zu verzeichnen, wobei auch hier tendenziell nicht der gesamte Stickstoff des Blattes der Zwiebel zugeführt wird (Abb. 13).

Bildet man den Mittelwert der N-Gehalte der drei Alterstufen je Termin, entsteht ein deutlicheres Bild (Abb. 14). Während der Gehalt an Stickstoff im Blatt relativ gleichmäßig zurück geht, steigt der N-Gehalt in der Zwiebel zunächst fast reziprok zu der Abnahme des N-Gehaltes im Blatt; erst zum Zeitpunkt zwischen Samenbildung und Samenreife (17. Juni bis 4. Juli) steigt der N-Gehalt in der Zwiebel sprunghaft von 5,1 auf 7,6 mg pro durchschnittlicher Zwiebel.

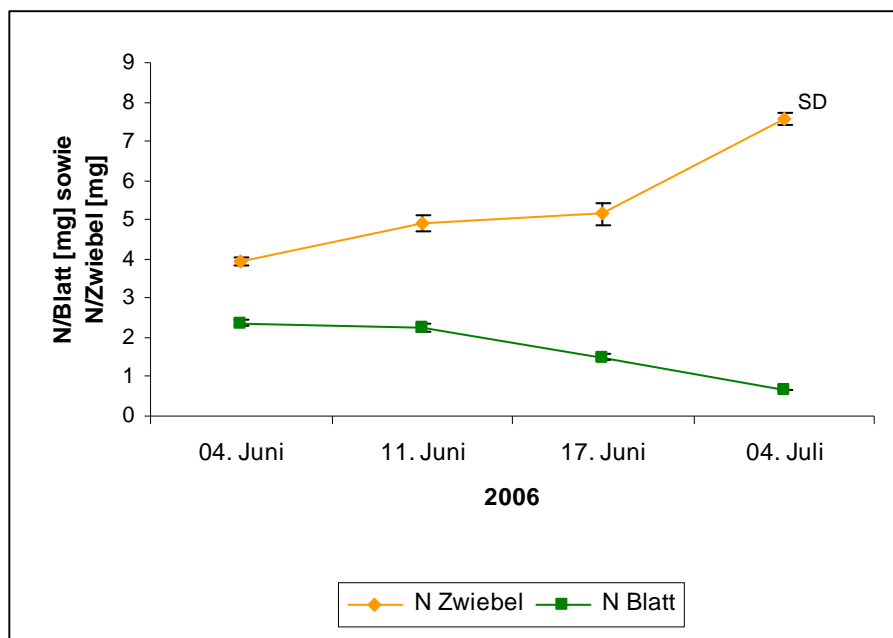


Abb. 14: Veränderung des Gehaltes stickstoffhaltiger Verbindungen (N) im durchschnittlichen Blatt und in der durchschnittlichen Zwiebel (über die Altersstufen gemittelt) von *Allium ursinum* über den Zeitraum der Seneszenz vom Entwicklungsstadium der Vollblüte (04. Juni) bis zur Samenreife (04. Juli) am Standort Schloßtal in 2006; SD = Standardabweichung, (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

4.1.2.4 Zusammensetzung und Veränderung der Kohlenhydrate in der Pflanze

Die Primärprodukte der Photosynthese im Blatt fallen an beiden Standorten im Zeitverlauf deutlich ab, wobei die Gehalte der beiden Monosaccharide für die Proben des Standortes S2 immer deutlich über denen des Standortes S3 liegen. Die Saccharosegehalte zeigen einen deutlich konstanteren Verlauf über den Beobachtungszeitraum, was für einen kontinuierlichen Abtransport der Saccharose

zu den Orten der Einlagerung spricht, wobei die Menge der abtransportierten Kohlenhydrate, zumindest bei diesen Messungen und den vorhandenen Mengen an Monosacchariden, nicht durch die Menge der zur Verfügung stehenden Monosaccharide beeinflusst wird (Tab. 2).

Tab. 2: Glucose-, Fructose- und Saccharosegehalte (absolut) in [mg] eines durchschnittlichen Blattes des zweiblättrigen Bärlauchs in einem Kalkbuchenwald mit bärlauchreichen Standorten unterschiedlicher Baumdichte (S2) und (S3) zum Entwicklungsstadium der noch geschlossenen Blüten (12. Mai), der Befruchtung (09. Juni) und der Samenreife (03. Juli) im Jahr 2006 am Standort Schloßtal. Signifikanzen geprüft mit Tukey-Test ($p \leq 0,05$) bei gleichen Kohlenhydraten zwischen den Standorten je Termin (a – b) und bei gleichen Kohlenhydraten zwischen den Terminen je Standort (A – C), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007)

Datum	WSC	S2	S3
12. Mai	Glucose	14,80 (a; A)	5,97 (b; A)
09. Juni	Glucose	5,71(a; B)	1,52 (b; B)
03. Juli	Glucose	0,43 (a; C)	0,09 (b; C)
12. Mai	Fructose	63,69 (a; A)	27,56 (b; A)
09. Juni	Fructose	13,82 (a; B)	4,14 (b; B)
03. Juli	Fructose	0,40 (a; C)	0,06 (b; C)
12. Mai	Saccharose	1,26 (a; A)	0,47 (b; A)
09. Juni	Saccharose	2,01 (a; B)	0,63 (b; B)
03. Juli	Saccharose	0,71 (a; C)	0,09 (b; C)

Insgesamt sinken in der Zwiebel die Gehalte der Monosaccharide im Zeitverlauf, während die Gehalte des Speichermoleküls Fructan und des Intermediärspeicher- sowie Transportkohlenhydrats Saccharose deutlich ansteigen. Auch bei den Betrachtungen des Kohlenhydrathaushaltes in der Zwiebel wird ersichtlich, dass, am ausgeprägtesten beim Fructan, die Zwiebeln am Standort der geringeren Baumdichte S2 eine wesentlich höher Kohlenhydrateinlagerung im Vergleich zu den Zwiebeln der stärker beschatteten Versuchsfläche zeigen (Tab. 3).

Tab. 3: Glucose-, Fructose-, Saccharose- und Fructangehalte (absolut) in [mg] einer durchschnittlichen Zwiebel des zweiblättrigen Bärlauchs in einem Kalkbuchenwald mit bärlauchreichen Standorten unterschiedlicher Baumdichte (S2) und (S3) zum Entwicklungsstadium der noch geschlossenen Blüten (12. Mai), der Befruchtung (09. Juni) und der Samenreife (03. Juli) im Jahr 2006, Signifikanz geprüft mit Tukey-Test ($p \leq 0,05$): Signifikanzen geprüft mit Tukey-Test ($p \leq 0,05$) bei gleichen Kohlenhydraten zwischen den Standorten je Termin (a – b) und bei gleichen Kohlenhydraten zwischen den Terminen je Standort (A – C), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007)

Datum	WSC	S2	S3
12. Mai	Glucose	3,02 (a; A)	1,90 (b; A)
09. Juni	Glucose	2,67 (a; B)	1,61 (b; B)
03. Juli	Glucose	1,02 (a; C)	1,02 (b; C)
12. Mai	Fructose	13,02 (a; A)	8,77 (b; A)
09. Juni	Fructose	6,47 (a; B)	4,21 (b; B)
03. Juli	Fructose	0,94 (a; C)	0,70 (b; C)
12. Mai	Saccharose	0,26 (a; A)	0,15 (b; A)
09. Juni	Saccharose	0,94 (a; B)	0,66 (b; B)
03. Juli	Saccharose	1,69 (a; C)	1,05 (b; C)
12. Mai	Fructan	96,11 (a; C)	51,23 (b; C)
09. Juni	Fructan	303,99 (a; B)	221,43 (b; B)
03. Juli	Fructan	321,00 (a; A)	254,37 (b; A)

Betrachtet man das Vorhandensein und die Entwicklung der WSC über den beobachteten Zeitraum so fällt zuerst auf, dass der Anteil der Fructose, als eines der beiden Primärprodukte der Photosynthese, immer deutlich über den Werten der Glucose liegt (Abb. 15). Dies ist grundsätzlich nicht verwunderlich, da zum Aufbau der hochpolymeren Fructane unterschiedlich große Mengen Fructose-Einheiten, je nach Polymerisationsgrad, glycosidisch an die bereits bestehenden Saccharose-Einheiten angeknüpft werden.

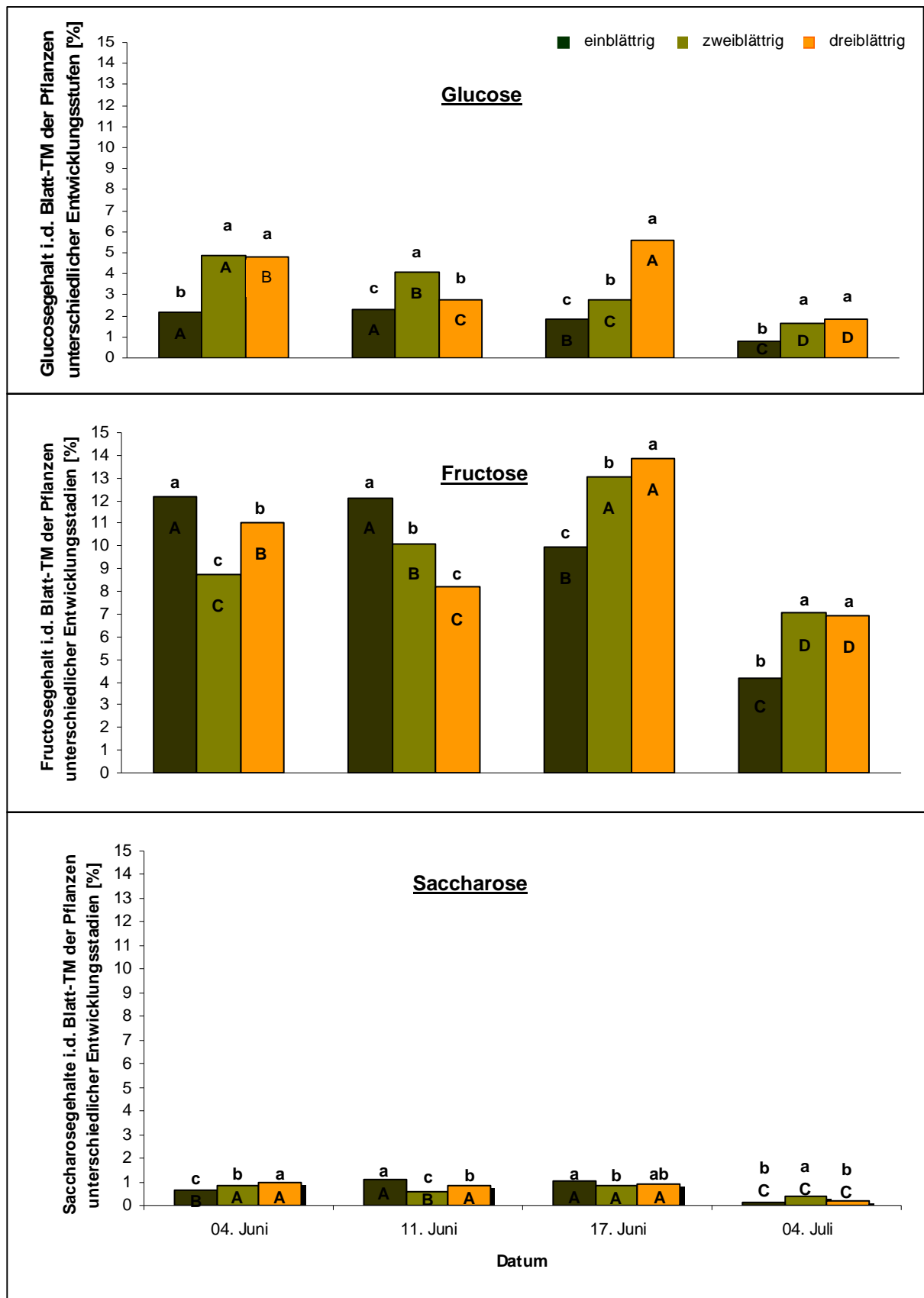


Abb. 15: Glucose-, Fructose- und Saccharosegehalte der Blattoffenmasse der verschiedenen Altersstufen des *Allium ursinum* zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni) und Samenreife (04. Juli) in 2006. Signifikanzen (A – D) geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$) für die einzelnen Kohlenhydrate je Altersstufe zwischen den Terminen; Signifikanzen (a – c) innerhalb der einzelnen Termine zwischen den Altersstufen geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Das Transportmolekül Saccharose als Produkt aus Glucose und Fructose stellt den mit Abstand geringsten Anteil an WSC im Blatt dar, wie Abbildung 15 verdeutlicht.

Grundsätzlich sinken alle Gehalte der drei WSC unabhängig der Altersstufe von der Samenbildung bis zur Samenreife auf den signifikant niedrigsten Wert.

Im Vergleich der Pflanzen der verschiedenen Entwicklungsstadien fällt auf, dass, mit Ausnahme für die ermittelten Fructosewerte am 04.06. und am 11.06., bei den beiden Einfachzuckern Glucose und Fructose die dreiblättrigen und zweiblättrigen Pflanzen die signifikant höchsten Kohlenhydratwerte in der Blatt-TM im Vergleich zu den einblättrigen (juvenilen) Pflanzen aufweisen.

Die Differenzierung der Pflanzen in die einzelnen Entwicklungsstufen bei der Betrachtung der wasserlöslichen Kohlenhydrate lässt eine detaillierte Beschreibung der Zustände in der Pflanze zu, erschwert jedoch, aufgrund des komplexen und nicht immer einheitlichen Verlaufs über den Betrachtungszeitraum die Interpretation. Als Überblick bietet sich daher eine in der folgenden Abbildung 16 dargestellte Zusammenfassung der Pflanzen über alle Alterstufen an.

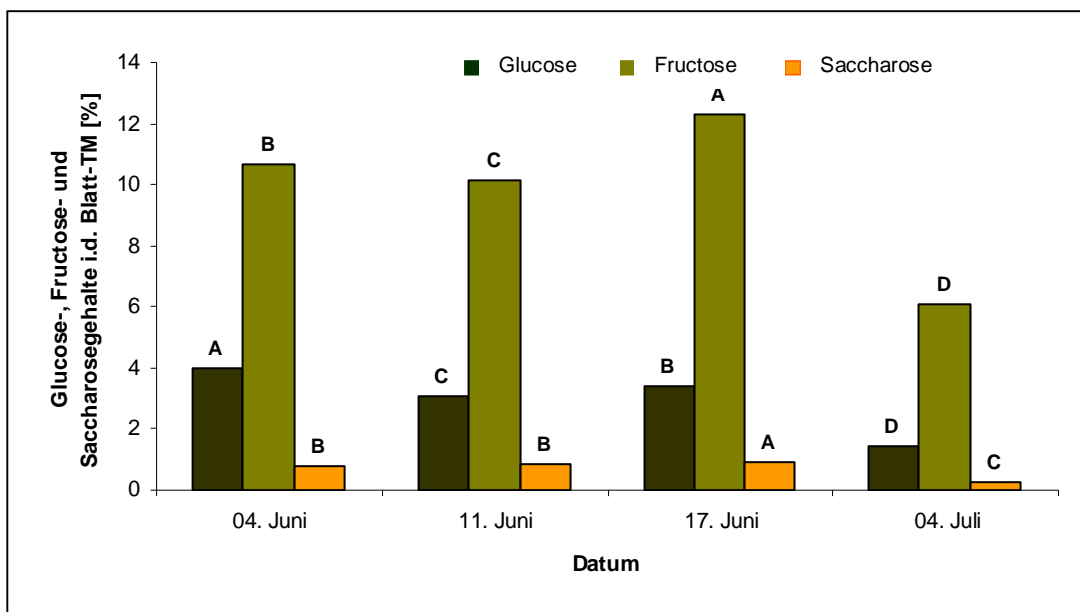


Abb. 16: Glucose-, Fructose- und Saccharosegehalte der Blatto Trockenmasse von *Allium ursinum* über die Altersstufen gemittelt zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni) und Samenreife (04. Juli) in 2006, Signifikanzen für die einzelnen Kohlenhydrate (A – D) zwischen den Terminen geprüft Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Deutlich zu erkennen ist, dass vom Zeitraum der Vollreife (04. Juni) bis zur Samenreife am 04. Juli der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten im Blatt grundsätzlich abnimmt. Wie auch schon bei der vorangegangenen, differenzierteren

Betrachtung ist der Anteil der Saccharose sehr gering und der Anteil der Fructose am höchsten.

Wie Abbildung 17 ersichtlich macht, ist die Schwankung im Gehalt der Mono- und Disaccharide zwischen den einzelnen Entwicklungsstadien in der Zwiebel deutlich geringer als in den Blättern (vgl. Abb. 16). Zudem liegen die für die Zwiebeln ermittelten Werte an Kohlenhydraten deutlich unter denen in der Blatztrockenmasse (vgl. Abb. 13). Die Glucosegehalte variieren im gesamten Zeitraum zwischen 0,01 % und 0,89 % und die Fructosegehalte zwischen 0,01 % und 4,7 % in der Zwiebeltrockenmasse. Ist bei den Monosacchariden eine langfristige Abnahme der Gehalte in der Zwiebel zu erkennen, so steigen die Saccharosegehalte ab dem Zeitpunkt der Samenbildung (17. Juni) signifikant an (Abb.17).

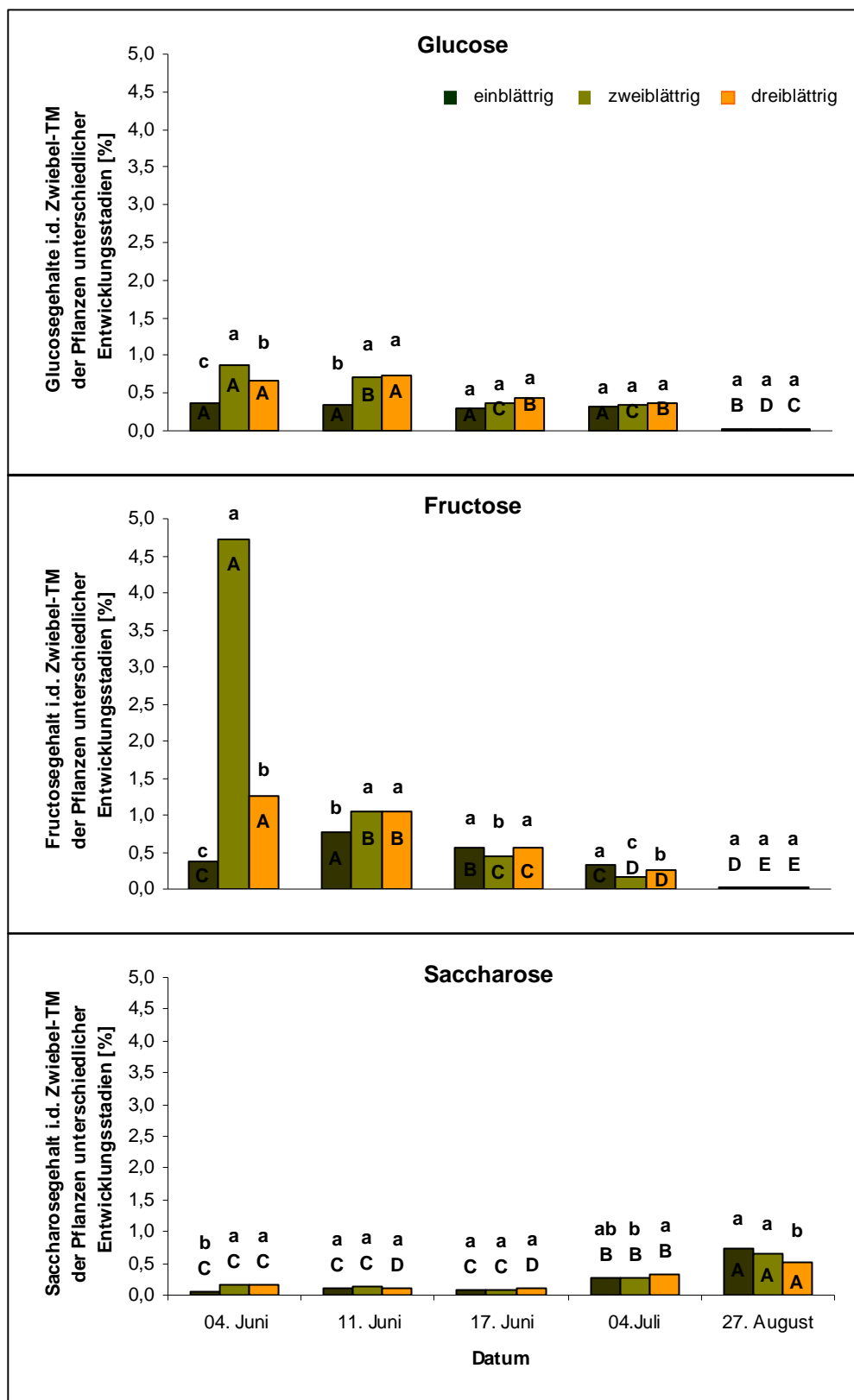


Abb. 17: Glucose-, Fructose- und Saccharosegehalte der Zwiebeltrockenmasse der verschiedenen Altersstufen (ein-, zwei- und dreiblättriger Bärlauch) von *Allium ursinum* zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni), Samenreife (04. Juli) und der Sommerruhe (27. August) in 2006; Signifikanzen (A – D) für die einzelnen Altersstufen zwischen den Terminen sowie Signifikanzen (a – c) innerhalb der einzelnen Termine geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach KLINKHAMMER; 2007).

Wie auch bei den Gehalten der wasserlöslichen Kohlenhydrate im Blatt bietet sich auch bei den WSC in der Zwiebel eine Betrachtung losgelöst von den einzelnen Altersstufen an, um grundlegende Aussagen treffen zu können. Mit Ausnahme der Glucosegehalte am 11. und 17. Juni fallen die Monosaccharidgehalte in der Zwiebel im Beobachtungszeitraum signifikant ab. Während der Anteil der Saccharose zunächst nur wenig steigt, ist spätestens ab dem Stadium Samenreife ein sprunghafter Anstieg der Saccharose (als Intermediärspeicher) in der Zwiebeltrockenmasse festzustellen (Abb. 18).

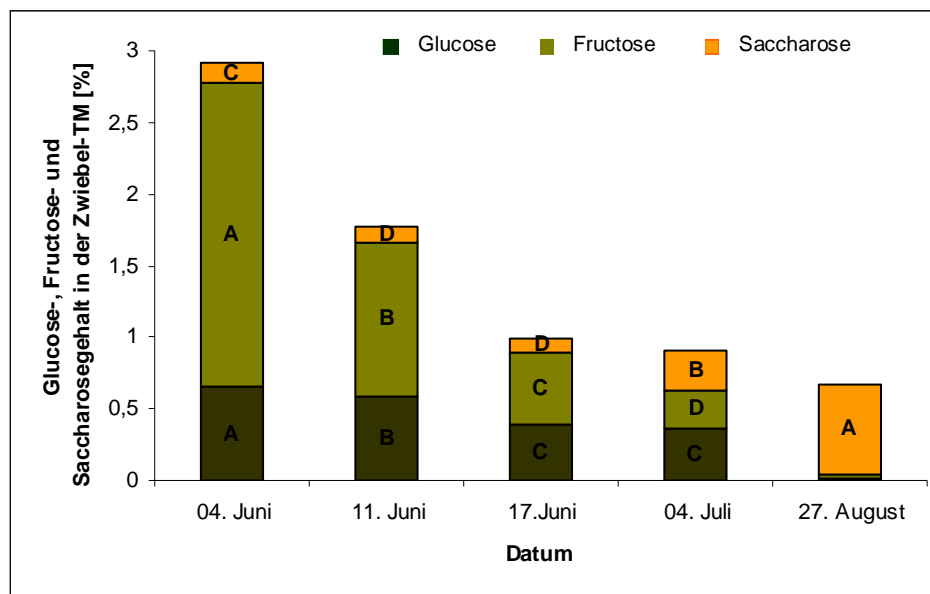


Abb. 18: Glucose-, Fructose- und Saccharosegehalte der Zwiebeltrockenmasse von *Allium ursinum* über die Altersstufen gemittelt zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni), Samenreife (04. Juli) und der vollständigen Seneszenz (27. August) in 2006. Signifikanz geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$): zwischen den Terminen A – E, die Buchstaben für die Glucose und Fructose müssen am 27. August „E“ für Fructose und „D“ für Glucose lauten, (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Die Fructangehalte in der Zwiebel liegen im Beobachtungszeitraum in allen untersuchten Altersstufen zwischen 65,6 und 72,8 % in der Trockenmasse der Zwiebeln. Bis auf den letzten Messtermin ist auffällig, dass die Fructangehalte in den Zwiebeln der einblättrigen Pflanzen über denen der dreiblättrigen Pflanzen liegt. An den ersten zwei Messterminen liegt der Fructangehalt in der Zwiebel der einblättrigen Pflanzen signifikant über dem der anderen Altersstufen. Allen Altersstufen gemein ist ein Anstieg des Fructangehalts bis zum Zeitpunkt der Samenbildung und, ab diesem Zeitpunkt, eine signifikante Abnahme bis zum letzten Messtermin in der Sommerruhe der Zwiebeln (Abb. 19).

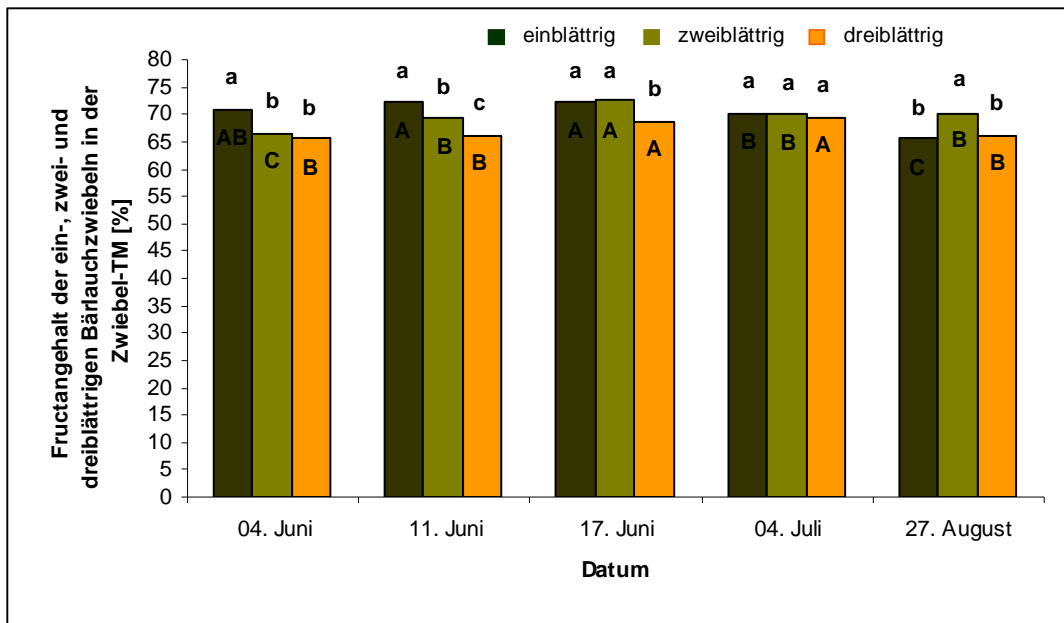


Abb. 19: Fructangehalte der Zwiebeltrockenmasse von *Allium ursinum* verschiedener Altersstufen zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni), Samenreife (04. Juli) und der Sommerruhe (27. August) in 2006, Signifikanzen (A – C) zwischen den Terminen je Altersstufe, sowie Signifikanzen (a – c) innerhalb der Termine zwischen den Altersstufen geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Die Betrachtung der Fructangehalte unabhängig vom Alter der Pflanzen in Abb. 20 bestätigt die bereits zu Abb. 19 gemachten Aussagen. Bis zum Zeitpunkt der Samenbildung nehmen die Fructangehalte in der Zwiebel stetig zu, danach nehmen sie wieder signifikant ab. Der Fructangehalt steigt von der Vollblüte mit 67,7 % bis zur Samenbildung auf 71,2 %, fällt dann wieder auf 67,1 % in der Trockenmasse zu Beginn der Sommerruhe.

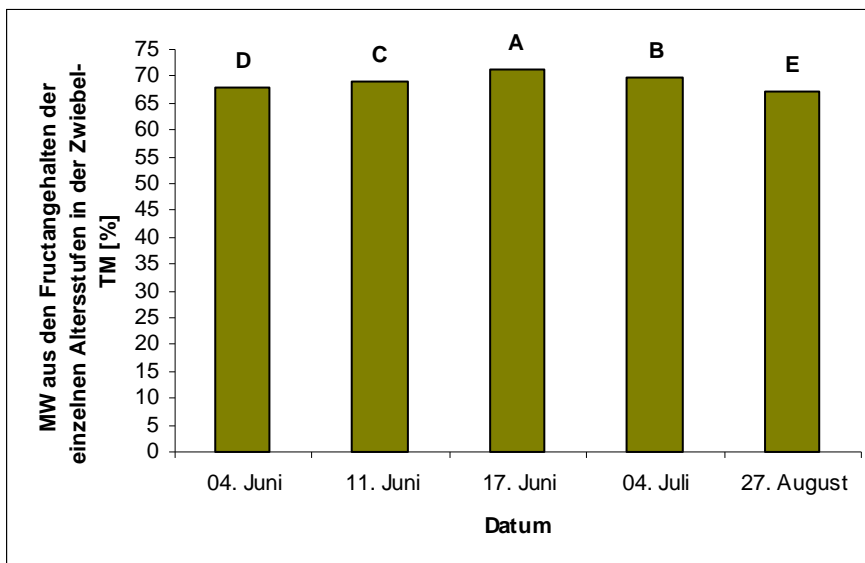


Abb. 20: Fructangehalte der Zwiebeltrockenmasse von *Allium ursinum* über die Altersstufen gemittelt zum Stadium der Vollblüte (04. Juni), Befruchtung (11. Juni), Samenbildung (17. Juni), Samenreife (04. Juli) und der Sommerruhe (27. August) in 2006. Signifikanzen (A – E) zwischen den Terminen geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

Der Gehalt an wasserlöslichen Mono- und Disaccharide, in Abb. 21 dargestellt, liegt im durchschnittlichen Bärlauch-Blatt zur Vollblüte um das etwa 4-fache höher als in der durchschnittlichen Zwiebel. Im weiteren Verlauf nimmt dieser Gehalt in den Blättern deutlich stärker ab als in der Zwiebel. Zwischen der Samenbildung und Samenreife reduziert sich der Gehalt an niedermolekularen Kohlenhydraten im Blatt von 15,7 auf 1,5 mg/Blatt, wobei der Gehalt in der Zwiebel auf nahezu gleichem Niveau bleibt. Die Menge des Polymers Fructan steigt in dieser Zeitspanne von 302 auf 332 mg/Zwiebel.

Der höchste Zuwachs an Fructan in der Zwiebel findet zwischen der Vollblüte und der Befruchtung des Bärlauchs statt. Einige Tage nach der Phase der Samenreife ist die Pflanze oberirdisch vollkommen abgestorben. Bis zur Sommerruhe am 27. August verringert sich der Reservestoff leicht von 334 auf 317 mg/Zwiebel.

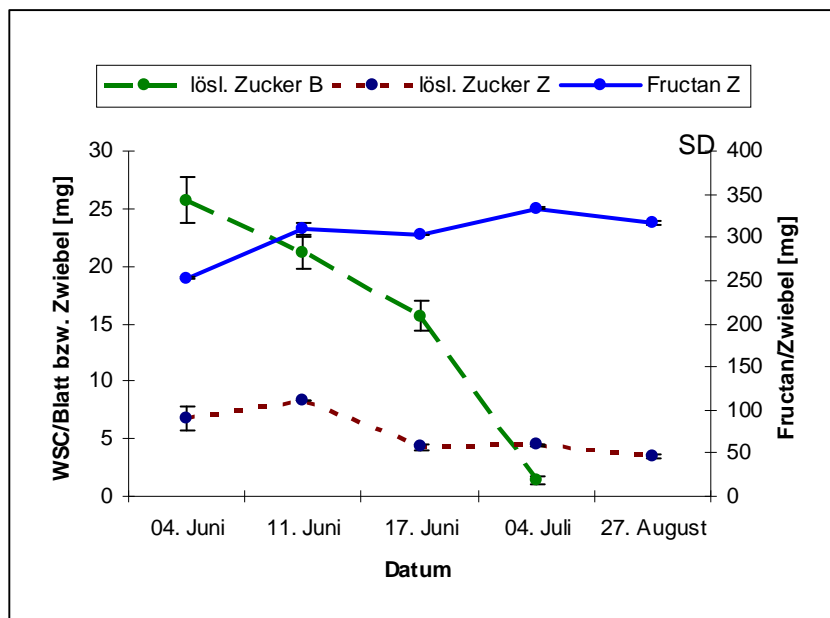


Abb. 21: Veränderung des Fructangehaltes und des Gehaltes an löslichen Zuckern (Glucose, Fructose und Saccharose) des durchschnittlichen Blattes (B) und der durchschnittlichen Zwiebel (Z) von *Allium ursinum* über den Messzeitraum vom Entwicklungsstadium der Vollblüte (04. Juni) bis zur Sommerruhe (27. August) in 2006. SD = Standardabweichung, (verändert nach KLINKHAMMER, 2007).

4.1.3 DISKUSSION

Die Betrachtungen des Naturstandortes nahe der Ortschaft Schloßtal haben gezeigt, dass eine Vielzahl von Faktoren Einfluss auf die dort wachsenden Pflanzen nehmen. Eine isolierte Betrachtung der einzelnen Faktoren ist daher nur schwer möglich und eine Allgemeingültigkeit der hier gewonnenen Aussagen über die beobachteten Versuchsflächen in der Eifel ist keinesfalls anzunehmen, wie auch schon SCHMUCKER und DRUDE (1934) in ihren Arbeiten zur Beschreibung des natürlichen Standortes herausfanden.

Dennoch liefern die in diesem Abschnitt der Arbeit zusammengetragenen Daten einen wichtigen Einblick in die physiologischen Abläufe innerhalb der Pflanze. Von besonderem Interesse in den hier vorliegenden Beobachtungen war die Variabilität des kleinräumigen Strahlungsangebots (vor allem PAR, vgl. BRUNNER, 1994) und die Reaktionen der Pflanzen im Hinblick auf Massebildung und Reservestoffspeicherung. Zudem war die Umverlagerung sowohl der stickstoffhaltigen Verbindungen als auch der nieder- und hochmolekularen Kohlenhydrate von Bedeutung, da ihr Vorhandensein die Voraussetzung für eine erfolgreiche, nächstjährige Vegetationsperiode der mehrjährigen Pflanzen darstellt.

Aus diesen grundlegenden Erkenntnissen können im Strategien entwickelt werden, welche dazu führen können, Bärlauch an einem angepassten Kulturstandort zu kultivieren

Im weiteren Verlauf der Diskussion wird zunächst auf den Faktor Einstrahlung und seinen Einfluss auf die Pflanzen und deren Stoffsynthese eingegangen, später wird die Phase der Seneszenz der Pflanzen und die in dieser Zeit ablaufenden Umlagerungsprozesse von Source zu Sink diskutiert.

Einfluss der Globalstrahlung:

ELLENBERG (1987) beschreibt Bärlauch als eine Pflanze, welche vornehmlich bei weniger als 5 % der relativen Beleuchtungsstärke anzutreffen ist, jedoch auch an helleren Standorten auftritt. HAHN (1992) berichtet von Bärlauchfunden auf feuchten Wiesen ohne jegliche Beschattung. Eine Vielzahl von Autoren (u.a. EGGERT (1992), TREMP (1996) ERNST (1979)) haben natürliche Standorte untersucht und dabei erstaunlicherweise oftmals gegensätzliche Beobachtungen gemacht oder Aussagen

getroffen. Dies zeigt, dass Bärlauch an einer Vielzahl verschiedenster Standorte anzutreffen ist und daher sein Vorkommen von einer beträchtlichen Anzahl von Faktoren bzw. deren Kombination abhängt. Erkennbar wird so der relativ große Toleranzbereich der Bärlauchpflanzen gegenüber dem Faktor Licht, wobei z.B. bei einer Inkulturnahme der Optimalbereich in Hinblick auf z.B. den Masseertrag von gesteigertem Interesse sein wird. Wie bereits erwähnt, ist die Menge des an den Waldboden gelangenden Lichts hauptsächlich abhängig von der Beschaffenheit des ihn überwachsenden Baumbestandes. Die in diesem Versuch untersuchten zwei Teilflächen konnten anhand der Dichte des Baumbestandes in einen weniger dichten Teilabschnitt S2 und einen dichter bewaldeten Teilabschnitt S3 untergliedert werden, welche sich anhand der sie bis zum Waldboden durchdringenden Strahlung charakterisieren ließen. Bei den Untersuchungen konnte herausgestellt werden, dass die Pflanzen, welche einem relativ höheren Lichtgenuss ausgesetzt waren, deutlich höhere Blatt- und Zwiebeltrockenmassen generieren konnten, wodurch auch der Fructangehalt in der durchschnittlichen Zwiebel an diesen Standorten deutlich höher war. Dadurch, dass es sich um ein System perennierender Pflanzen handelt, speichern die Pflanzen, die einem höheren Lichtgenuss ausgesetzt sind, größere Mengen an Reservestoffen, was wiederum dazu führt, dass sie im darauf folgenden Frühjahr auf einen größeren Reservestoffpool zurückgreifen können.

Bei Vegetationsbeginn ist das Kronendach des Waldes noch unbelaubt und die auf den Boden eintreffende Strahlung ist an beiden Standorten noch „hoch“. In dieser „Lichtphase des Waldes“ zeichnet sich Bärlauch als Frühjahrsgeophyt durch seine hohe Nettophotosyntheserate aus (KRIEBITZSCH, 1992); nur während dieser kurzen Phase ist es möglich, einen Netto-Kohlenstoffgewinn durch die Photosynthese zu erwirtschaften (EGGERT, 1992). Jedoch ist Bärlauch durch seinen effektiven Photosyntheseapparat in der Lage, auch bei geringen Einstrahlungsintensitäten eine Nettoassimilation zu erwirtschaften (LIETH and ASHTON, 1961).

Festzuhalten bleibt, dass am Naturstandort eine relative Erhöhung des Lichtgenusses bei Bärlauch eine Steigerung sowohl der Trockenmasse von Blättern und Zwiebeln sowie eine erhöhte Menge an eingelagertem Fructan zur Folge hat. Da die Steigerung der Trockenmassen und des Fructangehaltes bei gesteigertem Lichtangebot nicht proportional verläuft, ist davon auszugehen, dass zusätzlich weitere Faktoren eine Rolle spielen können. Die Grenze einer möglichen Steigerung der Trockenmasse und der Fructansynthese bei steigendem Lichtangebot dürfte vor allem durch den steigenden Wasserverlust infolge der Stomataöffnung, verbunden

mit einem Anstieg der Luft- und Blatttemperatur, gegeben sein. Grundsätzlich zeichnet sich Bärlauch laut KOJIC (1963) durch einen sehr niedrigen Transpirationskoeffizienten von ca. 100 aus, wobei der Wasserverlust durch Transpiration bei einer Temperatursteigerung von 10 auf 15 °C um 250 % steigt.

Veränderung des Gehaltes an stickstoffhaltigen Verbindungen sowie dem Anteil der WSC-Gehalte und deren Zusammensetzung während der Seneszenzphase der Pflanzen:

Als mehrjährige Pflanze ist Bärlauch darauf angewiesen, die primären Bau- und Stoffwechselprodukte bzw. Moleküle wie z.B. Kohlenhydrate und Stickstoff rasch aufzunehmen bzw. einzulagern und in einem weiteren Schritt in dafür geeigneten Organen für den nächstjährigen Wiederaustrieb zu speichern. Gerade Bärlauch als Frühjahrsgeophyt, welcher sein Wachstum bereits in den Wintermonaten zunächst unterirdisch durch Streckung des Embryos und Entwicklung des Sprosses beginnt und bereits spätestens im Februar die Substratoberfläche durchbricht, ist auf einen effizienten Nähr- und Reservestoffhaushalt angewiesen, um in für das Wachstum ungünstigen Bedingungen auf genügend eigene Ressourcen zurück greifen zu können.

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von der beginnenden Seneszenz im Stadium der Vollblüte (4. Juli) bis zum Stadium der einsetzenden Sommerruhe (27. August), welches durch die vollkommen abgestorbene oberirdische Biomasse der Pflanzen gekennzeichnet war. Während dieses Zeitraums spielen sich innerhalb der Pflanze zahlreiche interessante und für das Überleben der Pflanzen essentielle Umverlagerungen ab, die sich im Folgenden am treffendsten mit dem Sink/Source-Modell beschreiben lassen. In der Phase der beginnenden Seneszenz bzw. im Zeitraum davor dient das immer noch photosynthetisch aktive, wenn auch durch zahlreiche Alterungsprozesse nicht mehr so effizient arbeitende Blatt, als Source für die Bereitstellung von Kohlenhydraten. Im weiteren Verlauf werden diese in ihrer Transportform, der Saccharose, zu den Orten der Speicherung (hauptsächlich die Zwiebel aber teilweise auch die Wurzeln) transportiert, um dort bis auf weiteres in Form der Fructane eingelagert zu werden. Sobald die in der Ruhe befindliche Pflanze Kohlenhydrate zum Aufbau neuer Zellstrukturen, z.B. bei der Ausdifferenzierung und Streckung des Embryos benötigt, dient die Zwiebel als Source für diese Stoffe. Somit ist z.B. zum Ende des Beobachtungszeitraums auch

die leichte Abnahme des Speicherkohlenhydrates Fructan zu erklären. Zu diesem Zeitpunkt beginnen innerhalb des noch weitgehend undifferenzierten Embryo Wachstums- und Streckungsprozesse, welche die in den Kohlenhydraten gespeicherte Energie verbrauchen. Im Zeitraum vor der Sommerruhe bis zum 17.06. steigen die Fructangehalte in der Zwiebel signifikant an; in dieser Zeit befindet sich die Pflanze in einem verstärkten Alterungsprozess. Die oberirdischen Organe beginnen, wenn auch noch in verringerter Intensität photosynthetisch aktiv, abzusterben. In dieser Zeit findet also immer noch ein Netto-Kohlenstoffgewinn statt, welcher direkt in Form der Fructane gespeichert wird, da zu diesem Zeitpunkt keine Energie mehr zur Neubildung von oberirdischer Biomasse benötigt wird. Die Trockenmasse der Blätter liegt bei beginnender Seneszenz bei 230 mg und sinkt innerhalb des Beobachtungszeitraums bis zum 4. Juli auf 42 mg, die Zwiebeltrockenmasse steigt hingegen von 380 mg auf 480 mg an. HENDRY (1987) beobachtete ebenfalls bei Beginn der Sommerruhe die höchsten Fructangehalte in den unterirdischen Speicherorganen. Wie auch hier zu erkennen, und durch Untersuchungen von PÜTZ (2009) bestätigt, wird nicht die gesamte Trockenmasse der oberirdischen Organe in die unterirdischen Speicherorgane verlagert. Vielmehr fällt ein großer Teil der gebildeten Trockenmasse an das Erdreich zurück, wo es nach Mineralisierung wiederum den nächstjährigen Pflanzen, zumindest teilweise, zur Verfügung steht. BROCKLEBANK und HENDRY (1989) konnten nachweisen, dass in der, in dieser Arbeit nicht mehr untersuchten Zeit nach der Sommerruhe der Saccharosegehalt als Folge einsetzender Wachstums- und Differenzierungsprozesse ansteigt und mit einer Abnahme des Speicherkohlenhydrates Fructan einhergeht. Interessant ist weiterhin die Beobachtung, dass in allen drei Entwicklungsstadien (einblättrige, zweiblättrige und dreiblättrige Pflanzen) der Fructangehalt in der Seneszenzphase zwischen 65,8 und 72,8 % der Trockenmasse liegt. Diese Erkenntnisse decken sich mit den Untersuchungen von BROCKLEBANK und HENDRY (1989), die ähnliche Werte nachweisen konnten. HENDRY (1987) ermittelte den maximalen Fructangehalt in den Zwiebeln *Allium ursinum*s ebenfalls zur Ruhephase der Pflanzen im Sommer. So ist für den Eintritt in die Phase der Seneszenz nicht eine bestimmte Trockenmasse von Bedeutung, sondern vielmehr terminiert ein bestimmter Fructangehalt den Beginn der Seneszenz der Bärlauchpflanzen. KAHANE (2001) diskutiert in diesem Zusammenhang die Selektion bestimmter Klone bei *Allium cepa*, welche höhere Trockenmassen bilden und somit auch das Potential zu einer absoluten Erhöhung der Fructanmenge mit

sich bringen. TANWAR and SOOD (1992) berichten von einem bestimmten Saccharosegehalt, der als Energielieferant bei der Proteinbiosynthese fungiert und der bei der Umsetzung der hochpolymeren Fructane in den als Senken dienenden Zwiebeln entsteht. Ebenso lassen erhöhte Saccharosewerte zum Zeitpunkt der Sommerdormanz der Pflanzen auf Energie verbrauchende Prozesse wie z.B. Gewebedifferenzierung und/oder –neubildung innerhalb der Pflanze z.B. durch Bildung der so genannten Herbstwurzeln oder durch Streckung des Embryos, schließen.

Ähnliche Prozesse sind bei der Verlagerung der stickstoffhaltigen Verbindungen, bzw. des in dieser Arbeit nachgewiesenen Gesamt-Stickstoffs, unabhängig von dessen Art und Weise der Bindung in verschiedenen Molekülen bzw. Strukturen, zu beobachten.

Grundsätzlich geht, wie auch bei den Kohlenhydraten, ein nicht unerheblicher Teil der stickstoffhaltigen Verbindungen während der Seneszenzprozesse der Pflanze verloren. Bis zu 2,1 % Stickstoff in der Blatttrockenmasse werden nicht verlagert oder von der Pflanze verbraucht und fließen dem Bodenkörper zu, wo sie zumindest indirekt der Pflanze wiederum zur Verfügung stehen und mit verantwortlich für die teils hohe Bodenfruchtbarkeit in den untersuchten Gebieten sind.

Während der Stickstoffgehalt im Blatt im Zeitraum der beginnenden Seneszenz und der Sommerruhe von 2,4 mg auf 0,6 mg in der Trockenmasse sinkt, steigt im gleichen Zeitraum der N-Gehalt von 3,9 auf 7,6 mg in der durchschnittlichen Zwiebel an. Anders als bei den Kohlenhydraten wird also bei der Stickstoffverlagerung mehr N in den Zwiebeln eingelagert, als von den oberirdischen Organen geliefert wird. Dies ist darauf zurück zu führen, dass eine zusätzliche aktive Stickstoffaufnahme durch die Wurzeln stattfindet (vgl. BRESINSKY et al., 2008 u.v.m).

4.2 ERZEUGUNG VON SAAT- UND PFLANZGUT ZUR INKULTURNAHME

Grundlage jeglicher kommerzieller Pflanzenproduktion ist die Verfügbarkeit von Saat- bzw. Pflanzgut als Ausgangspunkt für eine erfolgreiche Erzeugung hochwertiger Produkte.

Bärlauch als Mitglied der Familie der *Alliaceae* ist als Zwiebelgewächs, wie bereits erwähnt in der Lage, sich sowohl auf generativem als auch auf vegetativem Wege zu reproduzieren. Die Wahl, ob auf Saat- oder Pflanzgut zurückgegriffen wird, hängt dabei, wie bei vielen anderen Pflanzen auch, von der Art und Weise der Verwendung der Pflanze sowie deren Nutzungsdauer ab. Will man schnell einen Bestand etablieren, so können aus den großen Sämereien zu beziehende Zwiebeln benutzt werden, welche jedoch mit einem Preis von bis zu 12 Eurocent/Stck. je nach Bestandesdichte zu hohen Etablierungskosten führen. Die Samen können in großen Mengen kostengünstig an den Naturstandorten gesammelt werden, besitzen jedoch den Nachteil, dass die Pflanzen mindestens drei Jahre benötigen, bis sie das Adultstadium erreichen.

Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze zur Bestandesetablierung wurde einerseits ein Verfahren zur Herstellung von Jungpflanzen aus Samen untersucht, andererseits wurde parallel die Stimulierung der vegetativen Vermehrung über die Bildung von Tochterzwiebeln erforscht.

In der bisher vorliegenden Literatur wird die Art und Weise sowie die Produktivität der beiden Reproduktionsarten kontrovers diskutiert. Während z.B. ERNST (1979) die generative Vermehrung als die produktivere Art der Vermehrung ansieht, sieht z.B. EGGERT (1992) in der vegetativen Reproduktion den effizienteren Weg der Arterhaltung und –verbreitung.

Dabei können beiden Reproduktionsarten sowohl negative wie auch positive Eigenschaften zugeschrieben werden. Die generative Vermehrung, aufgrund der Rekombination der Erbanlagen zweier Individuen, bringt genetisch „erneuerte“ Nachkömmlinge hervor, die sich schneller und besser an sich ändernde Umweltbedingungen anpassen können. Zudem entsteht durch die Samen, welche am Naturstandort zumeist mindestens eine einjährige Dormanz durchlaufen, ein enormer Saatgutpool im Waldboden. Die Samen können weiterhin im Schutze der Streuschicht des Waldbodens mehrere Jahre überleben und erst z.B. bei günstigen äußeren Lebensbedingungen mit der Keimung beginnen. Auch wenn keine aktive Verbreitung der Samen stattfindet, so findet doch zumindest auf kurze Distanz eine

Verbreitung der Samen durch das Abknicken der Scheindoldenstängel statt, welche oftmals die reifen Samen erst nach dem Abknicken des Stängels freigeben und somit eine Verbreitung der Samen, zumindest in der Länge des Scheindoldenstängels, bewirken.

Im Endeffekt können beide Arten der Vermehrung zeitgleich an derselben Pflanze ablaufen. So konnten in den hier beschriebenen Versuchen blühende und Samen bildende Pflanzen beobachtet werden, die zugleich auch eine Tochterzwiebel bildeten. Beide Arten der Reproduktion ergänzen sich mit ihren negativen wie positiven Eigenschaften und tragen dazu bei, dass der Bärlauch fast immer in großen Mengen auftritt und dabei keine oder nur in sehr geringem Maße Begleitflora zulässt. Letztendlich muss man der Pflanze eine äußerst wirksame und im Vergleich zu anderen Pflanzenarten aggressive Vermehrungsstrategie bescheinigen.

4.2.1 MATERIAL UND METHODEN

4.2.1.1 Generative Vermehrung

Bislang ist es noch nicht möglich Bärlauch-Saatgut in industriellem Maßstab zu erwerben. Für den kommerziellen Anbau ist es wichtig, einheitliches und in großem Maße verfügbares, hochwertiges Saatgut verwenden zu können. In etablierten Kulturen wird heutzutage standardisiertes Saatgut (Z-Saatgut) von zertifizierten Saatgutherstellern verwendet. In Getreidekulturen ist im konventionellen Anbau eine Beizung des Saatgutes Standard; im Zuckerrübenanbau wird in der BRD heutzutage fast ausnahmslos pilliertes, also gebeiztes und in eine Hülle aus Nährstoffen/Pflanzenschutzmitteln eingebettetes Saatgut verwendet. Bei Saatgut aus Wildsammlungen ist hingegen davon auszugehen, dass eine Heterogenität der Samen durch die noch fehlende züchterische Bearbeitung gegeben ist. Außer einer optischen Kontrolle, einer Fraktionierung nach Gewicht und/oder Größe oder, bei weitergehenden Untersuchungen z.B. der Lebensfähigkeit der Samen mittels TTC-Test (2,3,5-Triphenyl-Tetrazoliumchlorid) ist eine Bewertung kaum möglich. Die Sammlung von Saatgut aus Wildbeständen ist mühsam und langwierig. Hinzu kommt die Frage der Nachhaltigkeit der Erzeugung und der Schonung der Wildbestände.

Neben der Verfügbarkeit des Saatgutes sind auch grundsätzliche Fragen z.B. zu dessen Keimmechanismus immer noch nicht zufrieden stellend geklärt. Erste Ansätze, akzeptable Keimraten bei *Allium ursinum* Saatgut zu generieren, finden sich

bei ERNST (1979), der ein System entwickelte, um die Dormanz der Samen zu brechen. Neben der Betrachtung der allgemeinen Lebensfähigkeit der Samen, welche durch biotische und abiotische Faktoren determiniert wird, ist die erfolgreiche Brechung des Dormanzmechanismus der Samen (und der Zwiebeln) essentiell für eine erfolgreiche Etablierung eines einheitlichen Kulturbestandes.

Bärlauchsaatgut kann für den Hausgebrauch mittlerweile von Handelsunternehmen z.B. in Gartencentern bezogen werden. Da die Historie wie z.B. das Alter der Samen oder deren Lagerung bei käuflich erhältlichem Saatgut nicht bekannt ist, ist es für Versuche, die sich u. a. mit dem Mechanismus der Dormanzbrechung beschäftigen nicht zu gebrauchen.

Aus diesem Grund wurden für die im Folgenden beschriebenen Versuche Bärlauchsamen von einem natürlichen Standort nahe des Ortes Nettersheim in der Mitteifel gesammelt. Die Sammlung erfolgte am 27.07.2006 zu einem Zeitpunkt, an dem die Pflanzen schon eine stark fortgeschrittene Seneszenz aufwiesen und fast ausnahmslos alle Stängel der Blütenstände abgeknickt auf dem Waldboden lagen. Die Blütenhüllen, die die Samen umschlossen, waren eingetrocknet und größtenteils bereits aufgeplatzt. Der Großteil der Samen war bereits auf den Waldboden entlassen worden. Es wurden sowohl einzelne Samen als auch eingetrocknete Blütenstände entnommen und nach sechstägiger Lagerung bei Raumtemperatur in einer Standdresche gedroschen und windgesichtet. Mit Hilfe eines Schüttelsiebes der Bauart SORTIMAT wurden die Samen in verschiedene Größenfraktionen unterteilt. Der größte Anteil der Samen wies einen Durchmesser von kleiner als 1,8 mm bzw. zwischen 1,8 und 2,0 mm auf. Die Samen dieser beiden Fraktionen wurden homogen miteinander vermischt und bildeten die Grundlage für die weiterführenden Untersuchungen.

Die Keimversuche wurden nach Vorgabe der ISTA auf standardisiertem, plissierten Keimprüfpapier der Firma SCHLEICHER und SCHUELL durchgeführt. Das Keimprüfpapier wies 50 Falten auf, in die jeweils ein Samenkorn gelegt wurde. Das Keimprüfpapier wiederum wurde in lebensmittelechte, vor dem Auspacken sterile, mit einem Deckel verschließbare Keimschalen gelegt.

4.2.1.1.1 Stimulierung der Keimung durch Saatgutvorbehandlung und Stratifikation

In der, der Stratifikation zeitlich vorangestellten Saatgutvorbehandlung, wurden neben einer unbehandelten Kontrolle vier in der Praxis gängige Saatgutvorbehandlungen auf ihre Wirksamkeit zur Erhöhung der Keimrate getestet:

1. Kontrolle: Zu Beginn Befeuchtung des Keimprüfpapiers mit 50 ml destilliertem Wasser; im Verlauf der Stratifikation wurde der auftretende Feuchtigkeitsverlust durch Zugabe von destilliertem Wasser ausgeglichen.
2. KNO_3 : Zu Beginn Zugabe von 50 ml 0,2 % KNO_3 -Lösung; zum Ausgleichen des Feuchtigkeitsverlustes Zugabe von destilliertem Wasser.
3. Vortrocknung: Die Samen wurden bei 40 °C sieben Tage lang in einem Trockenschrank getrocknet, wobei sich ihre Masse um 5,43 % reduzierte. In Anschluss wurde diesem Samen ebenfalls auf Keimprüfpapier mit 50 ml destilliertem Wasser ausgelegt und bei Feuchtigkeitsverlust mit destilliertem Wasser wieder aufgefüllt.
4. GA_3 : Die Samen wurden mit einer ungepufferten Gibberellinsäurelösung (1000 ppm) behandelt. Der auftretende Feuchtigkeitsverlust wurde durch Zugabe derselben Lösung kompensiert.
5. Spülung: Unter Lichtabschluss wurden die Samen für sieben Tage bei 26 °C in einem Liter destilliertem Wasser gespült. Nach der Spülung wurden die Samen mit Leitungswasser gewaschen und nach der Trocknung der Samenoberfläche ebenfalls auf das mit 50 ml destilliertem Wasser befeuchtete Keimprüfpapier verbracht. Der Feuchtigkeitsverlust während der Stratifikationsdauer wurde durch Zugabe von destilliertem Wasser ausgeglichen.

Alle Ansätze wurden zu vier Wiederholungen mit jeweils 50 Samen angesetzt.

Im Anschluss an die beschriebenen Saatgutvorbehandlungen wurde mit den vorbehandelten Samen der Stratifikationsversuch gestartet.

Der Stratifikationsversuch ist, in optimierter Form in Anlehnung an ERNST (1979) zweistufig aufgebaut und differenziert sich in der ersten, warmen Stratifikationsphase bei 20 °C in die Behandlungsdauern von dreißig, sechzig, neunzig und einhundertzwanzig Tage, denen dann wiederum eine für allen vorangegangenen Varianten gleiche, sechzig tägige Stratifikation bei 10 °C folgt. Die warme Stratifikation wurde in einem Klimaraum unter Lichtabschluss durchgeführt. Die anschließende kalte Stratifikation bei 10 °C fand in einem (ebenfalls dunklen) Kühlschrank statt.

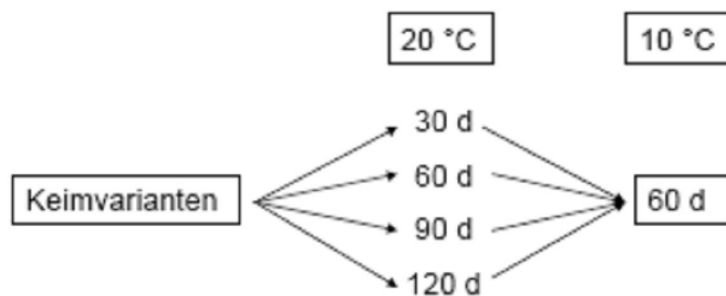


Abb. 22: Methodischer Aufbau der Stratifikationsvariationen im Keimungsversuch.

4.2.1.1.2 Pflanzenbonitur und Datenerhebung

Die Bestimmung der Keimrate erfolgte für alle Saatgutvorbehandlungs-Varianten sowie bei allen Stratifikationsvariationen in vierfacher Wiederholung. Die Keimschalen (= Wdh. á 50 Samen) wurden nach der Überführung in das kalte Milieu jeweils in wöchentlichen Abständen aus dem Kühlschrank entnommen und der makroskopisch sichtbare Austrieb des Keimlings bonitiert.

Zusätzlich zur Bestimmung der Keimraten in den verschiedenen Versuchsvarianten wurde schon während der Phase der warmen Stratifikation der Befall der Samen mit pathogenen Pilzen festgehalten. Dabei wurde der Befall in drei Befallsstärken eingeteilt:

1. leicht: Das Pilzmycel ist ansatzweise mit bloßem Auge auf dem Samenkorn erkennbar
2. mittel: Das Mycel ist deutlich zu erkennen, bleibt jedoch räumlich auf das Samenkorn beschränkt

3. stark: Starker Mycelwuchs über das Samenkorn hinweg, Samen sind bereits weich

Aufgrund der starken Kontamination der Samen vom natürlichen Standort mit pilzlichen Erregern wurden alle Varianten mit Ausnahme der Samen, die als Saatgutvorbehandlung für eine Woche gespült wurden, schon im Vorfeld mit einer Euparen-Lösung (25 %, praxisüblich) behandelt.

4.2.1.2 Vegetative Vermehrung

Neben der generativen Vermehrung ist Bärlauch auch in der Lage, sich vegetativ, über die Bildung von Tochterzwiebeln zu vermehren. Der genaue Mechanismus ist nur indirekt geklärt, offensichtlich ist jedoch, dass vor allem Pflanzen an Standorten mit optimalen Wachstumsbedingungen zur vegetativen Vermehrung neigen. Weiterhin ist bekannt, dass die Anlagen der nächstjährigen Organe zu Beginn der endogenen Ruhe der Zwiebel, also nach der vollständigen Seneszenz der oberirdischen Organe (etwa im Juni-Juli) terminiert ist, und bis zu diesem Zeitpunkt noch durch exogene Reize beeinflusst werden kann.

4.2.1.2.1 Stratifikationsverfahren zur Erhöhung der vegetativen Vermehrungsrate

ERNST (1979) beschrieb in seiner Arbeit eine Folge von warmer und kalter Temperatureinwirkung auf die Zwiebeln mit dem Zweck der Brechung der Dormanz. Diese Art der Dormanzbrechung stellt im Endeffekt lediglich die Situation am natürlichen Standort im Verlauf der Jahreszeiten nach, wenn auch unter nachvollziehbaren und reproduzierbaren Umständen. Zu diesem Themenkomplex wurden sowohl in 2006/2007 als auch in 2007/2008 jeweils ein Versuch angelegt: Im ersten Versuchsjahr wurden die Pflanzen wie in unten stehender Abbildung zu erkennen bei verschiedenen Temperaturabfolgen für bestimmte Zeiträume verbracht.

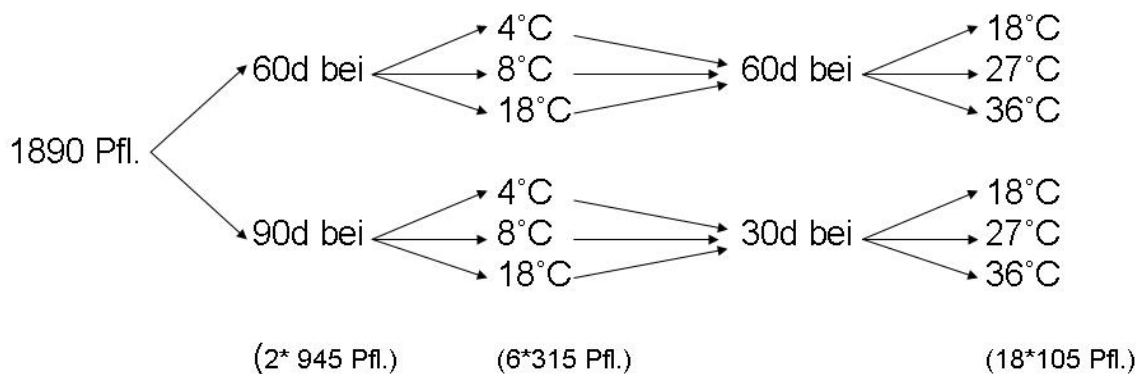


Abb. 23: Versuchsablaufplan zur Dormanzbrechung der Zwiebeln, Versuchsjahr 2006/2007.

Die Zwiebeln wurden in Containern in 0-Erde in die verschiedenen Temperaturumgebungen eingebracht, die Bodentemperatur wurde täglich mit handelsüblichen Thermometern überprüft. Der Versuch zur Dormanzbrechung wurde am 16. August 2006 begonnen.

2007/2008 wurde der Versuch dahingehend angepasst, dass nach der schon bekannten Spreizung der Dauer der Stratifikationstemperatur von 4 °C ein anschließendes „Antreiben“ bei 24 °C stattfand, um die Blattbildung zu fördern und zu beschleunigen.

4.2.1.2.2 Versuchsauswertung

Nach der ersten Spreizung der Temperaturbehandlung wurden die Zwiebeln visuell auf Austrieb bonitiert und danach wieder mit exakt 1 cm Substrat abgedeckt. Im weiteren Verlauf wurde der oberirdisch sichtbare Auswuchs (später in cm) erfasst. Zudem wurden bei Beendigung des Versuchs alle Zwiebeln gerodet und der Anteil der Zwiebeln, welche Tochterzwiebeln gebildet hatten, bestimmt.

4.2.2 ERGEBNISSE

4.2.2.1 Generative Vermehrung

4.2.2.1.1 Einfluss der Saatgutvorbehandlungen auf die Keimrate und den Befall mit pilzlichen Pathogenen

Der Vergleich der unterschiedlichen Saatgutvorbehandlungen mit verschiedenen langen Stratifikationsdauern bei 20 °C liefert kein einheitliches Bild.

Abbildung 24 zeigt daher die Keimungsverläufe der Samen bei unterschiedlichen Saatgutbehandlungen im Mittel über alle Stratifikationsdauern. Es konnten keine signifikanten Einflüsse der verschiedenen Saatgutvorbehandlungen auf den Keimungsverlauf bzw. die Endkeimrate nachgewiesen werden.

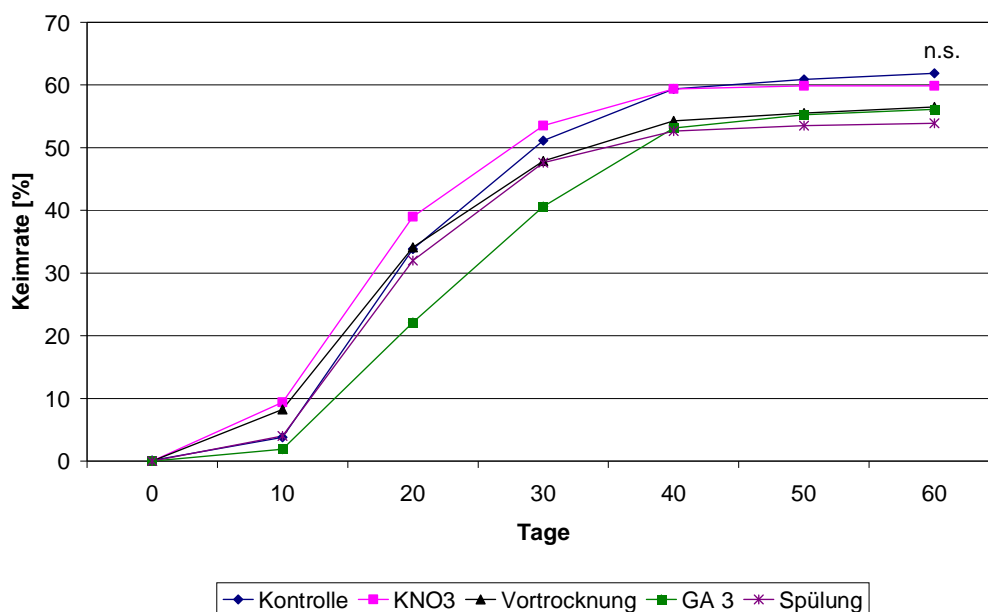


Abb. 24: Keimungsverlauf der Samen von *Allium ursinum* (2006) in Abhängigkeit der unterschiedlichen Saatgutvorbehandlungen im Mittel aller Stratifikationsdauern bei 20 °C. Signifikanzen (n. s.) für die Endkeimraten nach 60 Tagen zwischen den einzelnen Saatgutvorbehandlungen nach Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach DIESENBACHER, 2007).

Der in dem Zusammenhang mit der Saatgutvorbehandlung ebenfalls erfasste Befall der Samen mit pilzlichen Erregern zeigt, dass der Befall mit pathogenen Pilzen durch eine Vorquellung der Samen signifikant gesenkt werden konnte und dass eine starke Verpilzung besonders oft bei den vorgetrockneten Samen beobachtet wurde. Die Vorquellung lag in allen drei Befallsstärken unter denen der Kontrollvarianten, wobei

die Unterschiede lediglich in der Klasse „leichte Befallsstärke“ signifikant waren (Abb. 25). Eine Klassifizierung der unterschiedlichen pilzlichen Erreger fand nicht statt.

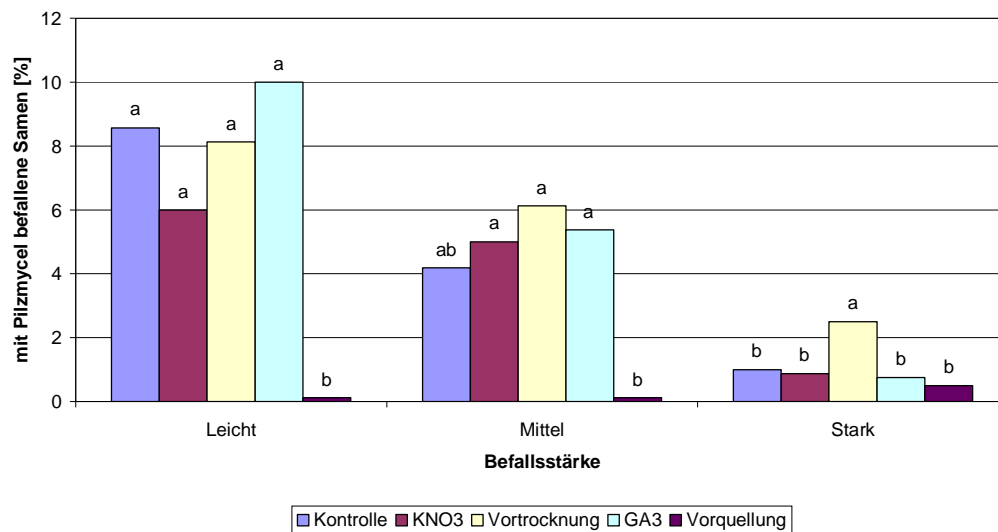


Abb. 25: Einfluss der Saatgutbehandlung auf den Anteil leichten, mittleren und starken Pilzbefalls von *A. ursinum*- Samen; Bonitur 14 Tage nach Überführung in Torfsubstrat bei 20 °C. Signifikanzen (a – b) innerhalb der einzelnen Befallsstärken geprüft mit Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach DIESENBACHER, 2007).

4.2.2.1.2 Einfluss der Stratifikationsdauer auf die Keimgeschwindigkeit und die Endkeimrate

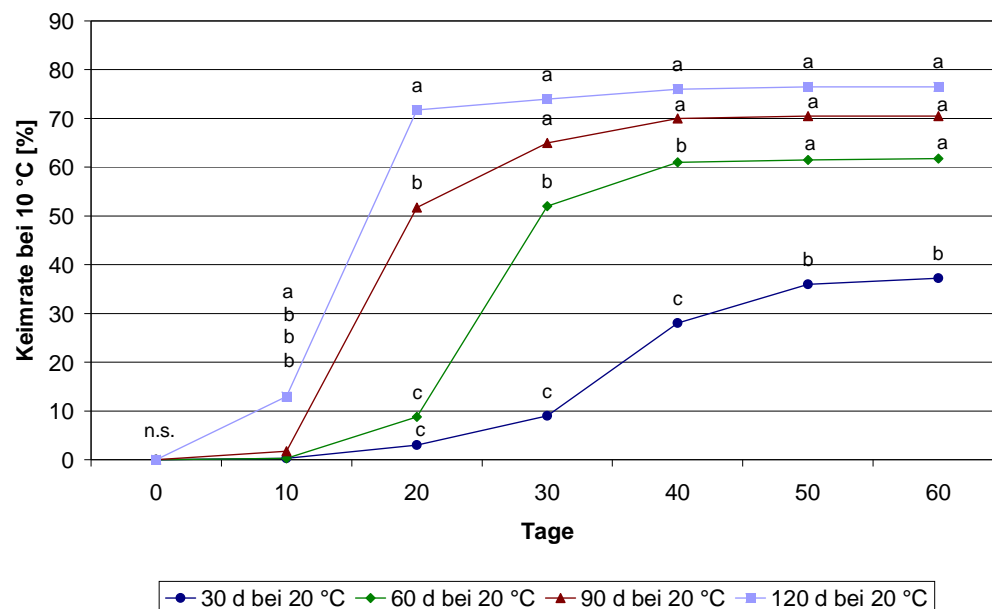


Abb. 26: Einfluss der Stratifikationsdauer bei 20 °C auf den anschließenden Verlauf der Keimungsrate bei 10 °C. Signifikanzen (a – c, n.s.) zwischen den Varianten an jeweils einem Termin nach Bonferroni ($p \leq 0,05$), (verändert nach DIESENBACHER, 2007).

Die warme Stratifikation (20 °C) wurde in diesem Versuchsaufbau mit vier verschiedenen Einwirkzeiten geprüft, indem nach der warmen Stratifikation die kalte Stratifikation angeschlossen wurde und am Ende der kalten Stratifikationsphase (nach 60 Tagen) die Endkeimrate bestimmt wurde. Zusätzlich wurden während der Kühlphase an fünf zusätzlichen Terminen die Keimraten bestimmt. ERNST (1979) hatte in seinem Versuch lediglich nachgewiesen, dass eine warme Stratifikation bei 20 °C für 120 Tage gefolgt von einer kalten Stratifikation bei 10 °C für 60 Tage die höchsten Endkeimraten erbrachte. Im oben beschriebenen Versuch lassen sich aus Abbildung 26 zwei weitere wesentliche Beobachtungen treffen:

1. Eine Verkürzung der Dauer der warmen Stratifikation auf zwölf bzw. acht Wochen ergaben, c. p. Endkeimraten (Auszählung nach 60 Tagen) in gleicher Höhe wie bei einer einhundertzwanzigtägigen warmen Stratifikation. Lediglich eine Verkürzung der warmen Stratifikation auf vier Wochen ergab eine signifikant verringerte Endkeimrate.
2. Bei der anschließenden sechzigtagigen kalten Stratifikation wurden im Abstand von zehn Tagen die aktuellen Keimraten bestimmt. Während die Keimraten innerhalb der ersten vierzig Tage der kalten Stratifikation bei den Varianten 8-, 12-, und 16-wöchigen warmen Stratifikation die maximale Keimrate bereits erreicht hatten, stieg die Keimrate der Variante vierwöchige warme Stratifikationszeit bis zum Endtermin weiter an, ohne bis dahin eine Plateauphase zu erreichen.

4.2.2.2 Vegetative Vermehrung

4.2.2.2.1 Einfluss der Stratifikationsdauer auf den Zeitpunkt des Austriebs

Die in Abbildung 27 dargestellten Daten zeigen, dass bei einer neunzigtagigen Stratifikation bei 4 °C, gefolgt von einer 30 tägigen warmen Stratifikation, bereits am 16. November bzw. später am 18. Dezember die meisten Zwiebeln einen makroskopisch sichtbar aus der Zwiebel hervortretenden Spross aufwiesen.

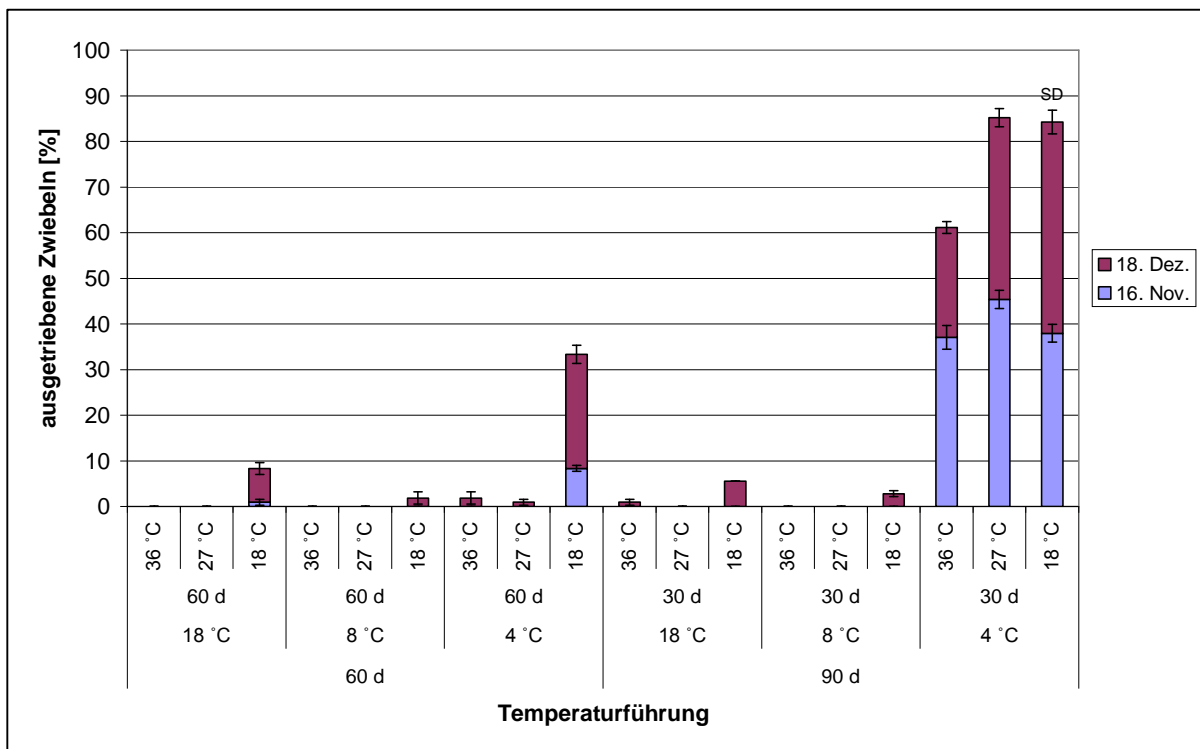


Abb. 27: Anteil der Zwiebeln [%] mit ausgetretenem Spross (noch unterirdisch) an zwei Boniturterminen. Übereinander dargestellte Balken stellen den gesamten prozentualen Austrieb dar. Boniturtermin 16. Nov. 2006 direkt nach der 120 tägigen Behandlung, 18. Dez. 2006 nach einmonatiger Lagerung bei 8 °C; SD = Standardabweichung, n = 105.

Betrachtet man lediglich die Länge der Stratifikation der Zwiebeln bei 4 °C so wird nochmals die Überlegenheit der neunzigtägigen kalten Stratifikation in Hinblick auf das Austriebsverhalten des Sprosses an beiden Boniturterminen deutlich. Am Ende (nicht dargestellt) ist die Anzahl der ausgetriebenen Zwiebeln in allen Varianten annähernd identisch, jedoch erreicht die Variante der neunzigtägigen Stratifikation wesentlich schneller den Höchstwert.

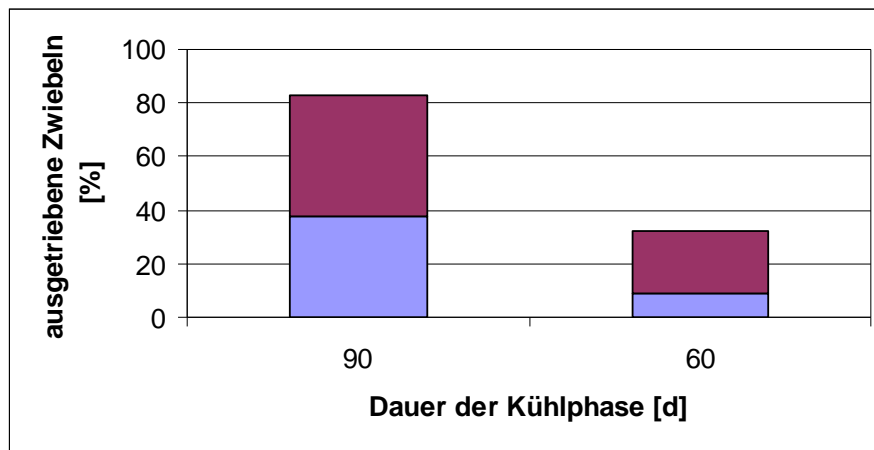


Abb. 28: Anteil der Zwiebeln [%] mit ausgetretenem Spross (noch unterirdisch) an zwei Boniturterminen als Durchschnitt aller Versuchsvarianten mit einer abschleißenden kalten Stratifikation bei 4 °C. Übereinander dargestellte Balken stellen den gesamten prozentualen Austrieb dar. Boniturtermin 16. Nov. 2006 (blau) direkt nach der 120 tägigen Behandlung, 18. Dez. 2006 (rot) nach einmonatiger Lagerung bei 8 °C; SD = Standardabweichung, n = 105.

4.2.2.2.2. Erhöhung der vegetativen Vermehrungsrate durch Stratifikation

Abbildung 29 stellt die prozentualen Anteile der Pflanzen mit einem Blatt, zwei Blättern sowie mehr als zwei Blättern (mehrblättrig) dar. Während die Unterschiede im Anteil der einblättrigen Pflanzen auch aufgrund der Tatsache, dass ihr Anteil verschwindend gering ist, nicht signifikant sind, zeigen sich deutliche Unterschiede in der Verteilung der zwei- und mehrblättrigen Pflanzen. Mit zunehmender Dauer der kalten Stratifikation bei 4 °C sinkt der Anteil der zweiblättrigen Pflanzen während der Anteil der mehrblättrigen Pflanzen ansteigt. Zwischen der unbehandelten Kontrolle (Lagerung bei Umgebungstemperatur) und der 90 tägigen Kühlphase sind diese Unterschiede signifikant.

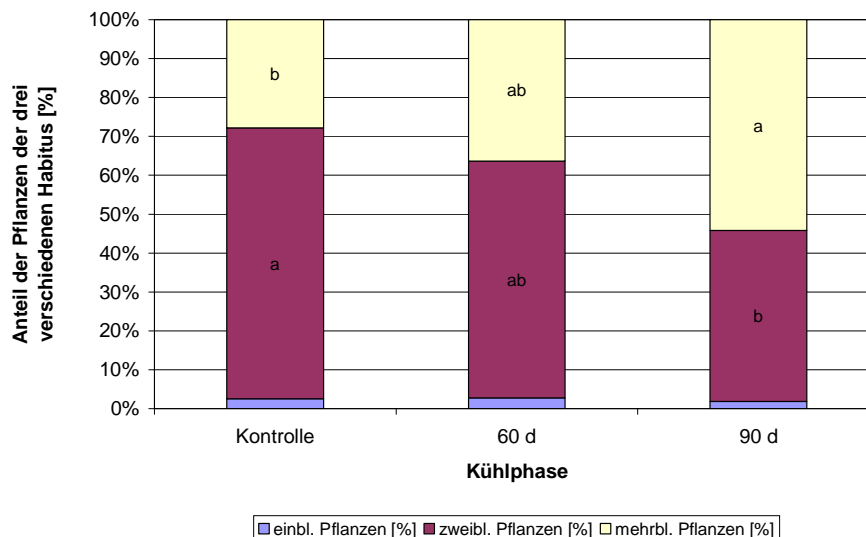


Abb. 29: Pflanzenhabitus zum Zeitpunkt kurz vor der Blüte (2008) in Abhängigkeit der Länge der Kühlphase (Beginn der Kühlphase im Juni 2007). Signifikanzen (a – b) zwischen den verschiedenen Varianten innerhalb der drei Habitus nach Bonferroni ($p \leq 0,05$); Signifikanzen zwischen den einbl. Pflanzen (n. s., nicht in der Abbildung eingetragen), $n = 200$.

Anmerkung:

Neben der oben beschriebenen Stratifikation zur Erhöhung der vegetativen Vermehrung der Pflanzen konnte noch ein Faktor als mögliche Ursache für eine verstärkte vegetative Vermehrung ausgemacht werden. FÜLLEKRUG (1971) beschreibt, dass Bärlauch vor allem unter optimalen Standortbedingungen und vor allem am Rand der Wildbestände bzw. an weniger dichten Beständen zur erhöhten vegetativen Vermehrung neigt.

Auf der LFS Marhof am Standort Wesseling herrschen optimale Bedingungen für den Intensivgemüsebau (genauere Standortbeschreibungen finden sich in Kapitel 4.4.1.1.1). In 2006 wurde dort im Frühjahr ein Bestand mit bereits ausgetriebenen Zwiebeln der Firma Rieger Hoffmann etabliert. Die Pflanzen wurden mit einer Bänderpflanzmaschine in einem Reihenabstand von 60 cm und einem Abstand in der Reihe von 13 cm gepflanzt. Eine Auszählung von 400 Pflanzen ergab, dass 49 % der Pflanzen nur ein Blatt, 47 % der Pflanzen bereits zwei Blätter und ca. 4 % der Pflanzen drei Blätter bildeten. Bereits im darauf folgenden Jahr erbrachte die Auszählung derselben Pflanzen folgendes Ergebnis: 2 % einblättrige Pflanzen, 15 % zweiblättrige Pflanzen, 54 % dreiblättrige Pflanzen und 29 % der Pflanzen hatten sogar mehr als drei Blätter. Somit hatte sich, lediglich durch die Zuteilung eines genügend großen Standraumes die durchschnittliche Blattanzahl pro Pflanze von durchschnittlich 1,5 in 2006 auf ca. 3,2 Blätter pro Pflanze in 2007 erhöht. Zwar ist hier zu beachten, dass die Vorgeschichte der in 2006 gepflanzten Zwiebeln nicht

bekannt war, jedoch ist es äußerst unwahrscheinlich, dass sich innerhalb eines Jahres alle einblättrigen Pflanzen auch an einem typischen Waldstandort derart schnell entwickelt hätten, zumal ERNST (1979) eine Dauer der Jugendentwicklung zwischen drei und sechs Jahren angibt.

Detailliert ist in Abbildung 30 das Voranschreiten der verschiedenen Pflanzenhabitus zu erkennen. Während im Etablierungsjahr der Bestand fast zur Hälfte jeweils aus ein- und zweiblättrigen Pflanzen bestand, konnte schon im darauf folgenden Jahr eine rasante Veränderung des Bestandes beobachtet werden.

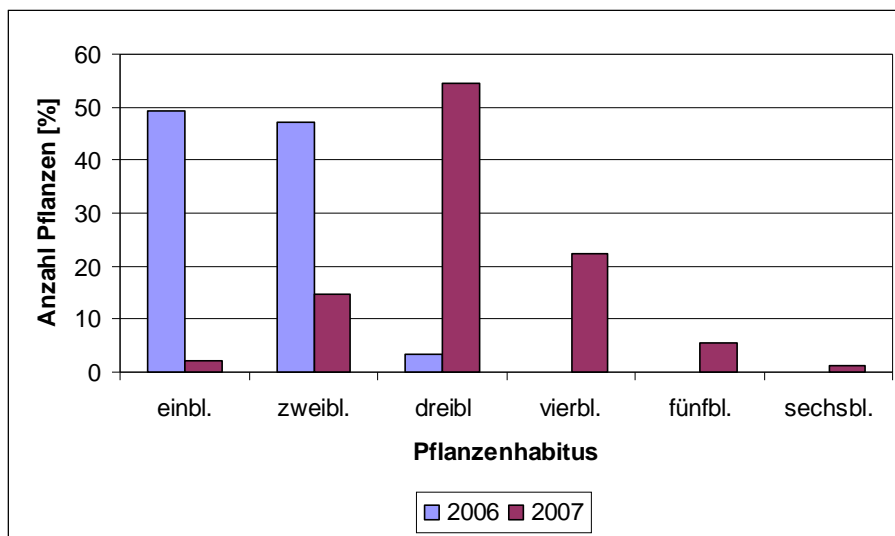


Abb. 30: Veränderung der Blattzahl einer durchschnittl. Pflanze von 2006 zu 2007 a. d. Freilandfläche der LFS Marhof (n = 400).

4.2.3 DISKUSSION

Saatgut, vor allem von Wildpflanzen, welche noch nicht züchterisch bearbeitet wurden, besitzen zumeist ein differenziertes Dormanzsystem, welches verhindert, dass die Pflanzen auch bei eigentlich idealen Wachstumsbedingungen zu wachsen beginnen, wenn sie nicht vorher einer bestimmten Konditionierung unterlegen waren. Nach LEUBNER-METZGER (2007) ist der Zustand der Dormanz nicht gleichbedeutend mit „Nicht-Keimung“, sondern beschreibt einen Samenzustand, welcher durch verschiedenste Umweltwerte bestimmt wird. Bei Kulturpflanzen ist es jedoch erwünscht, die Wege zur Brechung der Dormanz zu kennen, um z.B. beim Anbau im Gewächshaus eine ganzjährige Produktion zu gewährleisten. Schon ERNST (1979) hatte erkannt, dass sich eine bestimmte Temperaturfolge positiv auf das Austriebsverhalten von *Allium ursinum* auswirkte. Aufbauend auf seinen Untersuchungen wurde in dieser Arbeit ein Verfahren zur schnellen und sicheren

Bereitstellung von Saatgut entwickelt, welches mit einer bis zu 80 prozentigen Keimfähigkeit für züchterisch nicht bearbeitete Pflanzen einen hohen Wert aufweist. Zwar kann mittlerweile in kleineren Chargen Saatgut von verschiedenen Anbietern erworben werden, jedoch ist bei diesen Produkten die Vorgeschichte weitestgehend unbekannt, so dass diese Samen für eine kommerzielle Produktion nicht in Betracht kommen. Am besten eignen sich daher Samen von Pflanzen bekannter Herkunft, die im Zweifelsfall zur Etablierung eines Bestandes einmalig von einem Wildstandort entnommen werden müssten. Dabei ist darauf zu achten, nur Samen zu sammeln, welche mit 100 prozentiger Gewissheit aus der aktuellen Vegetationsperiode stammen, also nicht schon eine Vegetationsperiode in dormantem Zustand auf dem Waldboden gelagert haben. Nur so kann einheitliches Saatgut gewonnen werden, welches dann im weiteren Verlauf durch geeignete Stratifikationsverfahren zur Keimung stimuliert werden kann. Dabei lehnt sich die künstliche Stratifikation dicht an die natürlichen Vorgänge am Wildstandort an, wo den hohen Sommertemperaturen kühle Herbst-/Wintertemperaturen folgen.

Die Versuche zur Erzeugung von Saat- und Pflanzgut sowie der Brechung der Dormanz durch geeignete Stratifikationsverfahren haben gezeigt, dass es ohne hohen Aufwand möglich ist, auf generativem wie auch auf vegetativem Wege Saat- und Pflanzgut zu erzeugen und dieses auch zum Wachstum zu stimulieren. Beim Saatgut wurde nicht nur die keimungsstimulierende Wirkung verschiedener, in der Saatgut-Keimung bekannter Reagenzien getestet, sondern es wurde zudem ein, auf den Arbeiten von ERNST (1979) basierendes, zeitsparendes System zur Stratifikation der Samen entwickelt. Im Fall der 120 tägigen warmen Stratifikation war das Plateau bereits nach 20tägiger Stratifikation bei 10 °C erreicht. Neben der nachgewiesenen möglichen Verkürzung der warmen Stratifikation kann also auch die anschließende kalte Stratifikation in ihrer Einwirkdauer verkürzt werden, was zu einer Zeitersparnis von bis zu achtzig Tagen (bei 60 Tage Stratifikation bei 20 °C gefolgt von 40 Tagen Stratifikation bei 10 °C im Gegensatz zu 120 tägiger warmen Stratifikation gefolgt von 90 tägiger kalten Stratifikation) führt.

Aufgrund der von HEIDRICH (2007) veröffentlichten Ergebnisse, die Saatgut von *Allium ursinum* eine 80 %ige Lebensfähigkeit zuwiesen, ist also davon auszugehen, dass in diesem hier unternommenen Versuch ca. 100 % der lebensfähigen Samen zur Keimung gebracht wurden.

Zudem konnte aufgezeigt werden, dass gängige Behandlungsmethoden der Samen mit z.B. KNO₃, GA u.a. keinen positiven Effekt auf die Keimrate bei *Allium ursinum*

haben. Es war jedoch zu beobachten, dass die Samen, trotz einer einheitlichen Oberflächendesinfektion mit einer 25 prozentigen Euparen-Lösung oftmals mit pilzlichen Erregern infiziert waren, die im weiteren Verlauf zu einem Absterben des Samens führten. An dieser Stelle sei auf die positive Wirkung der Vorquellung der Samen hingewiesen. Bei dieser Behandlungsmethode konnte der in drei Befallsklassen eingestufte Befall mit pilzlichen Pathogenen im Vergleich zur Kontrolle und den meisten anderen erprobten Verfahren zur Saatgutvorbehandlung, deutlich verringert werden. Diese Überlegung sollte, bei Vorhaben zur Etablierung eines Bestandes durch Saatgut aufgrund der sonst drohenden hohen Ausfälle durch pilzliche Erreger, in Betracht gezogen werden.

Neben der Bereitstellung von Saatgut ist ein zweiter Weg zur Etablierung eines Bestandes eine Pflanzkultur durch Zwiebeln. Viele Autoren beschreiben, dass Bärlauch vor allem an optimalen Standorten bzw. gehäuft an den Rändern eines Bestandes zur vegetativen Vermehrung durch die Bildung von Tochterzwiebeln neigt (FÜLLEKRUG, 1990; ERNST, 1979; TREMP, 1996). Allein durch die Zuteilung eines definierten Standraumes konnte eine Zunahme der durchschnittlichen Blattzahl vom Etablierungsjahr 2006 mit 1,5 Blättern je Pflanze zu 2007 mit 3,2 Blättern je Pflanze mehr als verdoppelt werden. Im Jahr 2008 konnten eine Blattzahl von 5,5 Blättern je Pflanze ermittelt werden (jeweils $n = 400$).

Die Pflanzen konnten nicht gerodet werden, da sie noch für andere Versuche auf der Freilandfläche gebraucht wurden. Daher war es nicht möglich, die Anzahl der Zwiebeln je „Pflanzen-Einheit“ genau zu bestimmen. Sicher ist aber, dass alle Pflanzen, die drei Blätter bilden, auch eine Tochterzwiebel bilden (FÜLLEKRUG, 1990). Weiterhin ist davon auszugehen, dass auch im Folgejahr (2008) wiederum eine vegetative Vermehrung stattgefunden hat. Dies belegen die bei den Freilandrodungen gemachten Beobachtungen, bei denen im Herbst 2008 (die Bestandesetablierung erfolgte im Frühjahr 2006) die Mehrzahl der „Pflanzen-Einheiten“ mindestens drei, oft auch vier und mehr Zwiebeln aufwiesen.

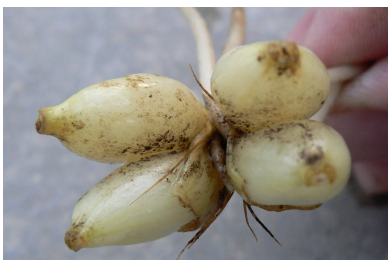


Abb. 31: Vier miteinander verwachsene Zwiebeln aus einer Rodung (2008) unbehandelter Parzellenstücke der Freilandversuche.

Außer der Unkrautfreihaltung der Fläche fanden sonst keinerlei kulturbegleitende Maßnahmen auf diesem Teil der Versuchsfläche statt, so dass davon auszugehen ist, dass die verstärkte vegetative Vermehrung hauptsächlich auf den Faktor „Standraumzuteilung“ zurückzuführen ist. Es sei an dieser Stelle noch darauf hingewiesen, dass die LFS Marhof in Wesseling aufgrund ihrer Bödenqualität ein sehr guter Standort z.B. für den Anbau von Intensivkulturen ist und somit natürlich auch für den Bärlauch einen bevorzugten Standort darstellt, was sich in der gesamten Performance der Pflanzen zeigte.

Durch eine gezielte Temperatursteuerung kann bei den Zwiebeln, wie auch bei den Samen (siehe oben) die vorhandene Dormanz gebrochen werden. Durch die Einwirkung eines Kältereizes ist es möglich, nicht nur die Dormanz der Zwiebeln zu überwinden, sondern auch den Anteil der sich vegetativ vermehrenden Pflanzen im Bestand zu erhöhen. Die Ergebnisse aus dieser Versuchsreihe zeigten deutlich, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Dauer des Kältereizes und der Anzahl der mehrblättrigen, sich vegetativ vermehrenden, Pflanzen besteht. In der Literatur finden sich zu diesem Phänomen keine auf Bärlauch übertragbaren Daten, da der Faktor „Kältereiz“ zuvor anscheinend noch nicht mit dem Faktor „Pflanzenhabitus“ in Verbindung gebracht wurde. Grundsätzlich ist der Einfluss der Temperatur auf Wachstums- bzw. Differenzierungsprozesse bei Pflanzen der Familie der *Alliaceae* bekannt (IMAMISHI, 1997; KANAUIA, 2002; MICHALSKY, 1990; MIEDEMA, 1994; PYUNG-SUB und JEONG-SIK, 1998). Grundvoraussetzung, um einen Effekt durch den Kältereiz zu erzielen ist, dass der Reiz noch vor Beginn der endogenen Ruhe der Zwiebeln im Sommer gesetzt wird. Ist dieser Zeitpunkt überschritten, ist es nicht mehr möglich, auf die Anlage der nächstjährigen Vegetationsorgane, welche in dieser Ruhephase angelegt werden, einzuwirken.

Durch einen frühen Kältereiz (4 °C), direkt einsetzend nach der vollständigen Seneszenz der Pflanzen über eine Dauer von 90 Tagen kann die Dormanz der Zwiebeln gebrochen werden, eine anschließende Überführung in ein wärmeres Klima regt das Wachstum des Keimlings zusätzlich an. Der Kältereiz wirkte sich weitergehend dahin aus, dass eine signifikante Erhöhung der Tochterzwiebelbildung um 26 % bei den Pflanzen beobachtet werden konnte.

4.3 Gefäßversuch zur Ertragsoptimierung durch Düngungsmaßnahmen

4.3.1 MATERIAL UND METHODEN

Zum Themenkomplex „Düngung“ wurden insgesamt zwei voneinander unabhängige Versuche durchgeführt, die sich mit der Quantifizierung des Ertragszuwachses bei steigender Düngungsintensität beschäftigten. Ziel war es, die in Hinblick auf einen größtmöglichen Ertrag optimale N-Düngerangebotsmenge zu ermitteln.

4.3.1.1 Einfluss einer Stickstoffsteigerung auf Ertragsparameter

4.3.1.1.1 Versuchsaufbau

Für den Versuch, in dem der Einfluss einer Steigerung des Düngungsangebots auf den Ertrag untersucht werden sollte, wurden schon in 2007, nach vollständig abgeschlossener Seneszenz, Pflanzen aus dem Gewächshaus, welche zuvor nicht in anderen Untersuchungen genutzt wurden, in sog. Rosentöpfe gepflanzt, welche sich durch ihr Volumen von 4 l bei den Abmessungen 15,7 x 15,7 x 23,3 cm (L x B x H) und den damit verbundenen, großen Wurzelraum auszeichneten. Drei Pflanzen pro Topf bei insgesamt acht Töpfen wurden jeweils zu einer Variante zusammengefasst. Die Pflanzen wurden in vom Hersteller nicht aufgedüngte Nullerde gepflanzt. Der Versuch wurde vierfach wiederholt und als vollständig randomisierte Blockanlage angelegt, sodass pro Variante insgesamt 96 Pflanzen zur Beprobung zur Verfügung standen. Aus den Varianten (n = 96) wurden die Pflanzen mit dem Habitus: drei Blätter und zwei Blüten herausgesucht, um diese zu beproben, die sich zumindest phänologisch im selben Entwicklungsstadium befanden.

Der Versuch begann am 15.02.2008 mit der ersten von insgesamt zehn Teilgaben der Düngermengen 0 kg, 50 kg, 100 kg, 150 kg und 200 kg N/ha. In diesem Versuch wurde der flüssige Dünger „Amnitra“ verwendet, der in den vier verschiedenen Konzentrationen angesetzt, und mit Hilfe eines Photometers auf den Anteil an Nitrat- und Ammonium-N untersucht wurde. Die angesetzte Menge Dünger wurde so gewählt, dass sie einen EC-Wert von 2,0 nicht überschritt und dass jede der einzelnen Teilgaben genau 200 ml entsprach. Die Kontrollpflanzen wurden analog mit 200 ml Regenwasser gegossen. Die weiteren Düngungstermine waren: 22.02.,

25.02., 04.03., 07.03., 11.03. (die ersten Scheindolden beginnen sich zu öffnen), 19.03., 26.03., 02.04. und der 07.04.2008 (kurz vor der Blüte).

In diesem Versuch wurden anschließend ebenfalls die Frisch- und Trockenmasse der einzelnen Pflanzenorgane bestimmt. Des Weiteren wurde mit dem SPAD-Meter der relative Chlorophyllgehalt der Pflanzen ermittelt. Zusätzlich erfolgte im Anschluss an die Bestimmung der Trockenmasse zu einzelnen, vorher festgelegten Terminen die weitere Beprobung der gefriergetrockneten Proben mit Hilfe der HPLC auf die Monosaccharide Glucose und Fructose, das Disaccharid Saccharose sowie auf das Polysaccharid Fructan. Alle Untersuchungen und Messungen erfolgten wie in Kapitel 3 beschrieben.

4.3.1.2 Einfluss einer Stickstoffsteigerung auf Ertragsparameter bei N-Düngung vs. Mehrnährstoffdünger

4.3.1.2.1 Versuchsaufbau

Als Mehrnährstoffdünger wurde das wasserlösliche „Kristalon blau“ eingesetzt.

Tab. 4: Nährelementgehalte im Dünger „Kristalon blau“

Nährelement	Anteil [%]
Stickstoff	19,0
Phosphat	6,0
Kaliumoxid	20,0
Magnesiumoxid	3,0
Schwefel	3,0
Bor	0,0250
Molybdän	0,0040
Kupfer	0,010
Eisen	0,070
Mangan	0,040
Zink	0,0250

Auch in diesem Versuch wurden die vorher angesetzten Düngerlösungen auf ihren Gesamt-N Gehalt hin photometrisch überprüft. Die Gabe erfolgte in sieben Teilgaben (zu je 200 ml Düngerlösung) zwischen dem 03.03.2008 und dem 17.04.2008. Als N-Dünger wurde wiederum „Amnitra“ eingesetzt. Beide Düngemittel wurden entsprechend ihres Stickstoffgehaltes auf eine Düngemenge von 50 bzw. 150 kg

N/ha eingestellt. Die Kontrollvarianten wurden zeitgleich zu den Düngungsvarianten mit 200 ml Regenwasser gegossen, bei Bedarf wurden alle Varianten zusätzlich mit Regenwasser gegossen. Weitere Kulturmaßnahmen fanden nicht statt.

Die Ermittlung der hier erhobenen Daten erfolgte analog zu den in Kapitel 3 beschriebenen Methoden.

4.3.2 ERGEBNISSE

4.3.2.1 Ertragszuwachs durch N-Steigerung

4.3.2.1.1 Einfluss auf die ober- und unterirdischen Ertragsparameter

Im Vergleich zur ungedüngten Kontrollvariante war erst bei einer Düngungsintensität von 100 kg N/ha eine signifikante Zunahme der Blattfrischmasse zu erkennen. Eine weitere Steigerung bis auf 200 kg N/ha erbrachte hingegen keine signifikant gesteigerte Blattfrischmasse, so dass man ab der Düngermenge von 100 kg N/ha von einem „Ertragsplateau“ sprechen kann (Abb. 32).

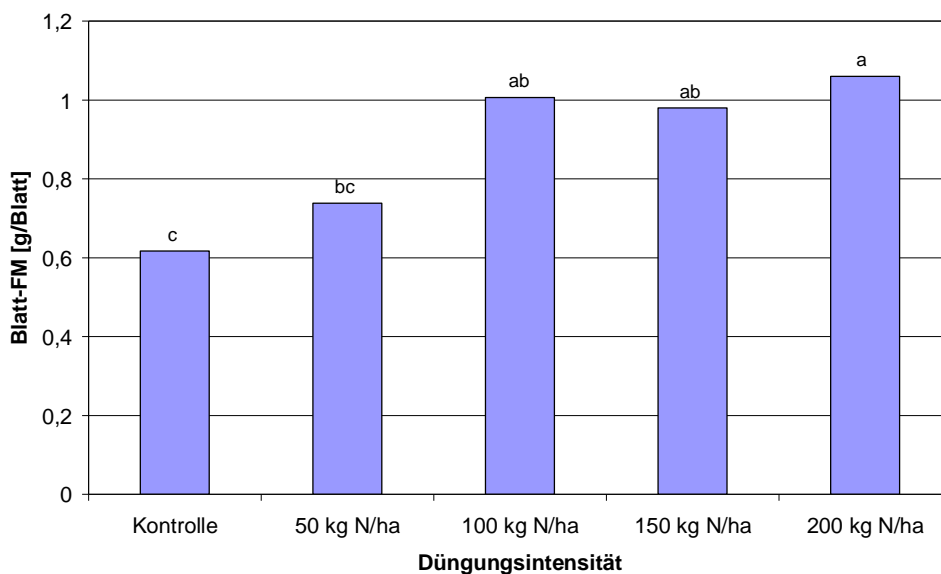


Abb. 32: Blatt-FM eines durchschnittlichen Blattes einer Pflanze am 22.04.2008 in Abhängigkeit der Düngungsintensität mit dem N-Dünger „Amnitra“. Signifikanzen (a – c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Ähnlich wie bei der Blatt-FM zeigte sich auch bei der Blatt-TM eine zumindest tendenzielle Zunahme des Gewichtes mit steigender N-Düngungsintensität. Bei der Blatttrockenmasse konnte erst ab einer Düngungsintensität von 150 kg N/ha eine signifikante Trockenmassezunahme im Vergleich zur ungedüngten Variante in den

Blättern verzeichnet werden. Auch hier konnte eine weitere Erhöhung der Düngergabe auf 200 kg N/ha keine signifikanten Ertragszuwächse generieren (Abb. 33).

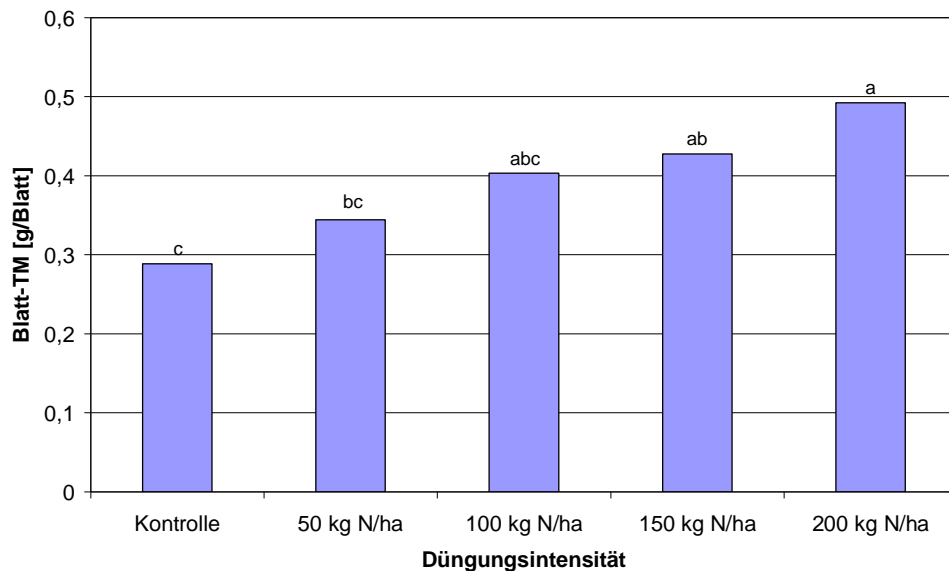


Abb. 33: Blatt-TM eines durchschnittlichen Blattes einer Pflanze am 22.04.2008 in Abhängigkeit der Düngungsintensität mit dem N-Dünger „Amnitra“. Signifikanzen (a – c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

4.3.2.1.2 Einfluss auf die Entwicklung der Überdauerungsorgane

Die Werte für die Zwiebel-TM in Abbildung 34 liegen zwischen 0,68 und 0,95 g TM pro Zwiebel. Obwohl zunächst eine tendenzielle Steigerung der Zwiebel-TM im Vergleich zur Kontrolle zu erkennen war, sank die TM bei der letzten Steigerung von 150 kg N/ha auf 200 kg N/ha tendenziell wieder ab. Die Zwiebel-TM-Unterschiede zwischen allen Düngungsintensitäten einschließlich der Kontrollvarianten waren nicht signifikant.

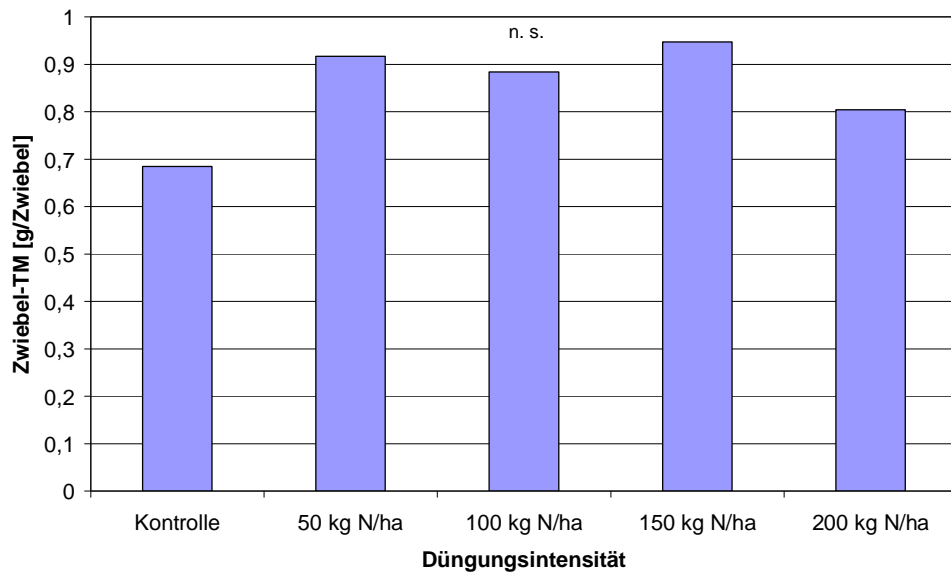


Abb. 34: Zwiebel-TM in Abhängigkeit der Düngungsintensität mit einem reinen N-Dünger „Amnitra“ am 23.07.2008. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

4.3.2.1.3 Auswirkung auf den Reservestoffhaushalt der Zwiebeln

Die Fructangehalt der Zwiebeln der verschiedenen Varianten (Abb. 35) variieren in einem relativ engen Rahmen zwischen 677 und 743 mg/g Fructan in der TM. Im Vergleich zur ungedüngten Kontrollvariante wies lediglich die mit 200 kg N/ha gedüngte Variante signifikant niedrigere Fructangehalte in der Zwiebel auf. Die Versuchsvariante 50 kg N/ha wies im Vergleich zu den Varianten mit den beiden höchsten Düngungsintensitäten die größten Fructangehalte in der Zwiebel auf.

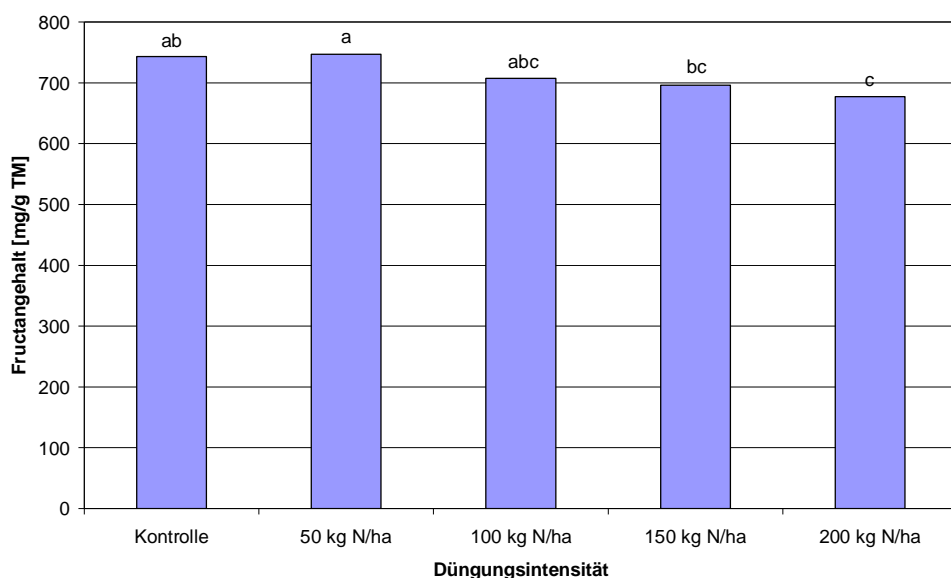


Abb. 35: Fructangehalte in der Zwiebel in Abhängigkeit der Düngungsintensität mit dem N-Dünger „Amnitra“ am 23.07.2008. Signifikanzen (a – c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Bezieht man hingegen den Fructangehalt auf die tatsächlich ermittelte Trockenmasse der Zwiebeln (Abb. 36) konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Dies ist auf die schon in Abbildung 34 dargestellten relativen hohen Abweichungen in der Zwiebeltrockenmasse in den einzelnen Varianten zurückzuführen.

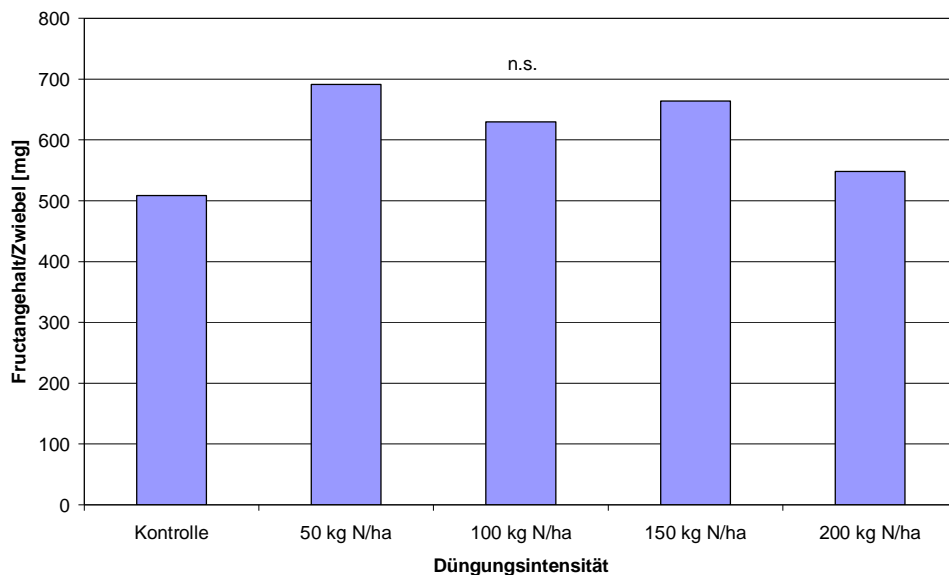


Abb. 36: Fructangehalt einer durchschnittlichen Zwiebel in Abhängigkeit der Düngungsintensität mit dem Dünger „Amnitra“ am 23.07.2008. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

4.3.2.2 Einfluss einer Stickstoffsteigerung auf Ertragsparameter bei N-Düngung vs. Mehrnährstoffdünger

4.3.2.2.1 Einfluss auf den Ertrag der ober- und unterirdischen Biomasse

Eine Steigerung der Stickstoffzufuhr durch die beiden Handelsdünger erhöhte zunächst tendenziell die Blattfrischmasse, jedoch lediglich 150 kg N/ha in Form von „Kristalon“ führten zu einer signifikanten Steigerung der Blattfrischmasse. Alle anderen Faktorkombinationen von Düngermenge und Dünger waren in Bezug auf die Kontrolle ohne signifikanten Effekt (Abb. 37).

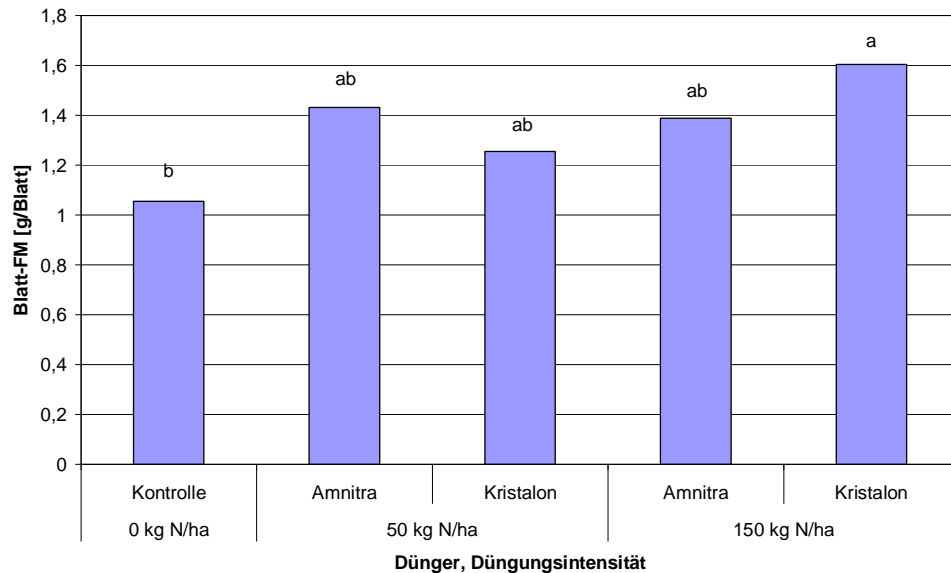


Abb. 37: Blatt-FM eines durchschnittlichen Blattes einer Pflanze am 14.05.2008 in Abhängigkeit des Düngers und der Düngermenge. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Bei einer Steigerung der N-Menge konnte grundsätzlich keine signifikante Steigerung der Blatt-TM erzielt werden (Abb. 38). Allerdings war, wie auch schon bei der Blatt-FM eine tendenzielle Steigerung der Trockenmasse im Vergleich mit der am niedrigsten ausgeprägten Blatt-TM der Kontrollvariante zu erkennen.

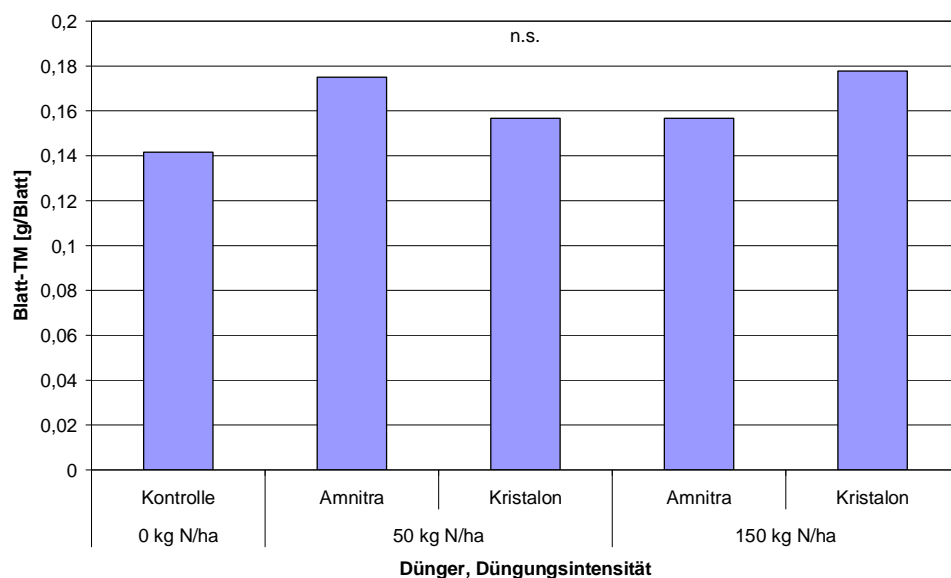


Abb. 38: Blatt-TM eines durchschnittlichen Blattes einer Pflanze am 14.05.2008 in Abhängigkeit des Düngers und der Düngermenge. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Bei den Zwiebeln war eine deutliche, wenn auch aufgrund der hohen Standardabweichungen lediglich tendenzielle Steigerung der Frischmasse zu erkennen. Wie auch schon bei der Blattfrischmasse war nur bei der Variante 150 kg N/ha mit der Düngerform „Kristalon“ eine signifikant gesteigerte Frischmasse der Zwiebeln nachweisbar (Abb. 39).

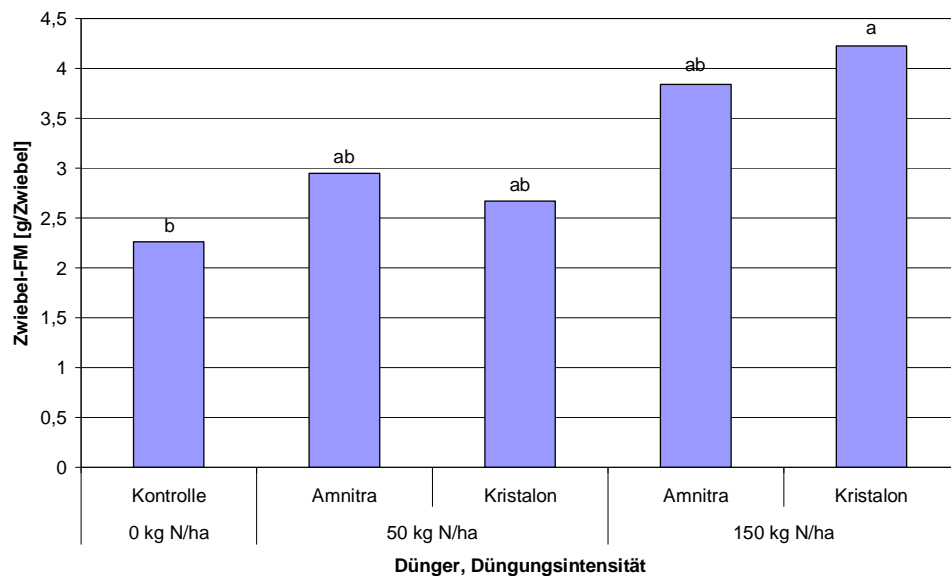


Abb. 39: Zwiebel-FM einer durchschnittlichen Pflanze am 28.07.2008 in Abhängigkeit des Düngers und der Düngermenge. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Die Zwiebel-TM verhielt sich, mit Ausnahme der Variante 50 kg N/ha „Kristalon“, bei einer Steigerung der N-Gabe identisch zur zuvor ermittelten Frischmasse. Sowohl die Kontrollvariante wie auch die Variante 50 kg N/ha „Kristalon“ wiesen eine signifikant geringere Zwiebel-TM auf (Abb. 40).

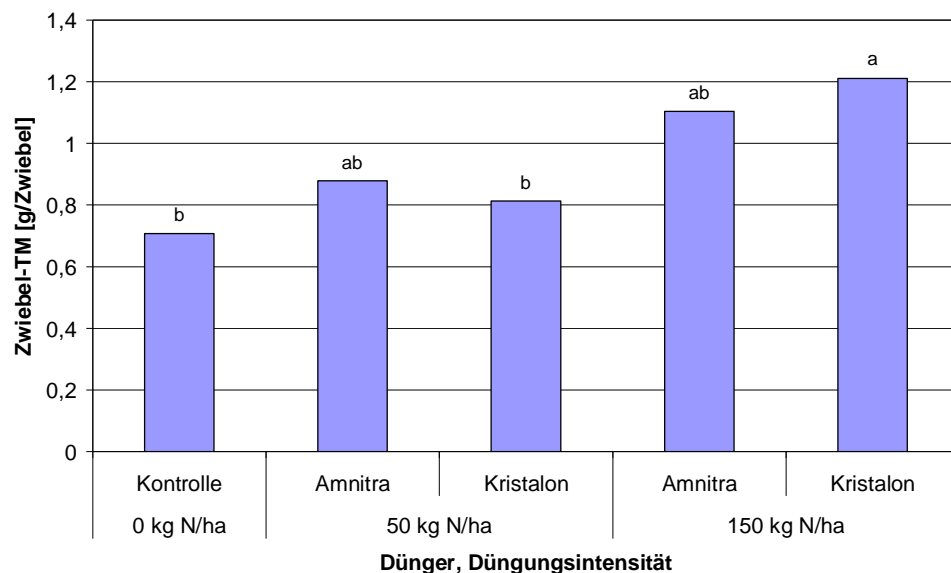


Abb. 40: Zwiebel-TM einer durchschnittlichen Pflanze am 28.07.2008 in Abhängigkeit des Düngers und der Düngermenge. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Obwohl aufgrund der Werte signifikante Unterschiede in Bezug auf die Wurzel-TM zu erwarten gewesen wären, ergaben die Unterschiede, aufgrund der hohen Standardabweichungen der Werte innerhalb der Varianten keine statistisch absicherbaren Signifikanzen (Abb. 41).

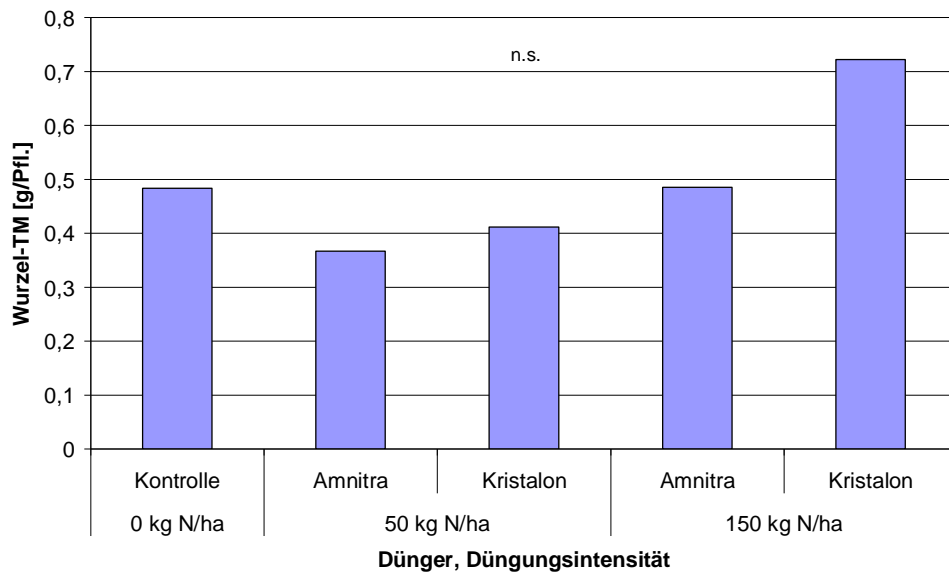


Abb. 41: Wurzel-TM einer durchschnittlichen Pflanze am 28.07.2008 in Abhängigkeit des Düngers und der Düngermenge. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

4.3.2.2.2 Auswirkungen auf den Reservestoffhaushalt

Die Fructangehalte in den Zwiebeln lagen alle bei ca. 700 mg/g TM, was einem Anteil von 70 % in der TM entspricht. Dieser Wert findet sich auch in anderen Versuchen zum Zeitpunkt der abgeschlossenen Seneszenz der Pflanzen. Die Werte der gedüngten Versuchsglieder zeigten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante (Abb. 42).

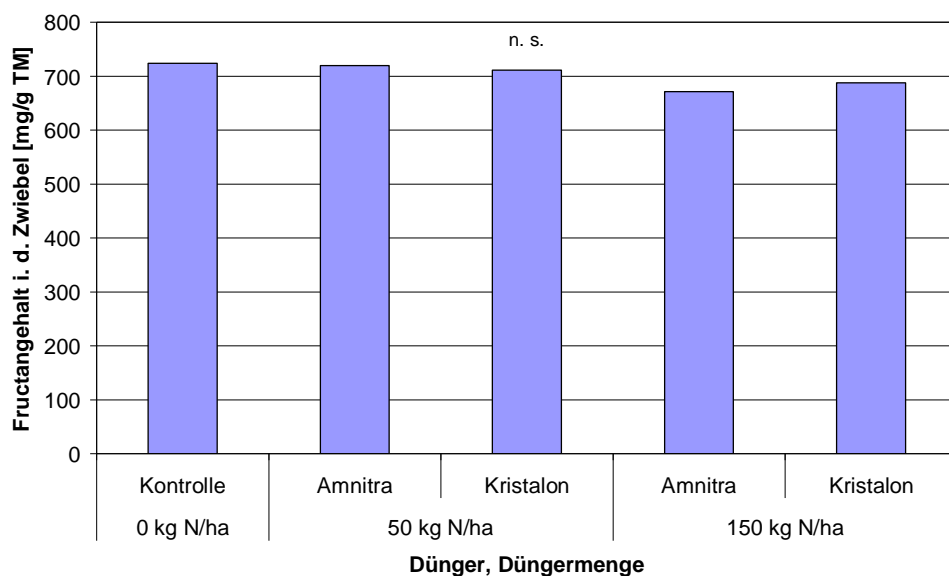


Abb. 42: Fructangehalt einer durchschnittlichen Zwiebel am 28.07.2008 in Abhängigkeit der Düngermenge und Düngerart. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Auch die Fructangehalte der Wurzeln lagen, im Vergleich zu denen der Zwiebeln auf einem leicht geringeren Niveau, wenn auch auf einem nicht signifikanten Level. Sie schwankten zwischen einem Fructangehalt von 50 – 58 % in der TM (Abb. 43). Wiederum ist hier die nicht signifikante Merkmalsausprägung hauptsächlich auf die hohen Standardabweichungen, vor allem bei der Bestimmung der Wurzel-FM und – TM, zurückzuführen.

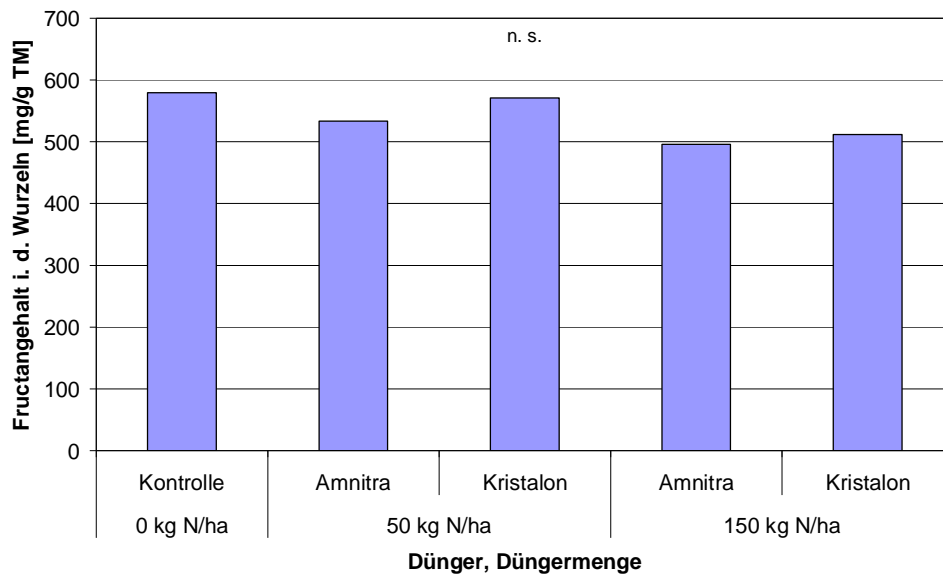


Abb. 43: Fructangehalt der Wurzeln am 28.07.2008 in Abhängigkeit der Düngermenge und Düngerart. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Die in Abbildung 44 dargestellten WSC lagen nach der statistischen Verrechnung, mit Ausnahme der Variante 150 kg N/ha „Amnitra“ auf gleichem Niveau. Lediglich die 150 kg N/ha „Amnitra“ Variante lag mit einem Anteil von über 16 % WSC (gesamt) in der Trockenmasse der Zwiebeln signifikant höher als die anderen Varianten.

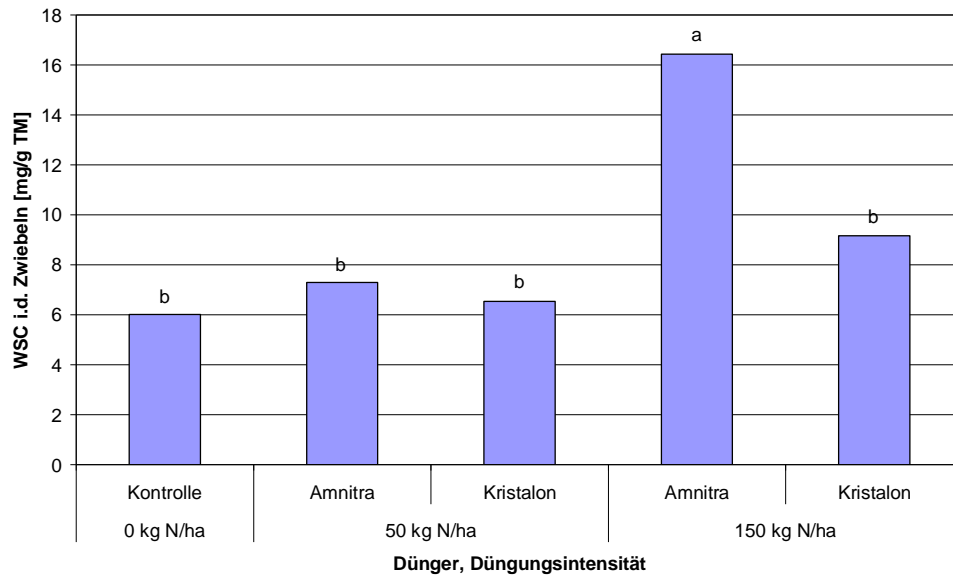


Abb. 44: WSC (Summe aus Glucose, Fructose und Saccharose) in der Zwiebel am 28.07.2008 in Abhängigkeit des Düngers und der Düngermenge. Signifikanzen (a – b) zwischen den Varianten nach Tukey ($p \leq 0,05$).

4.3.2.2.3 Einfluss auf die optische Qualität der Blätter

Trotz einer Erhöhung der N-Zufuhr konnte an keinem der beiden Messtermine eine Farbveränderung in Form eines veränderten SPAD-Wertes nachgewiesen werden. Allein ein leichter Anstieg des SPAD-Wertes vom ersten zum zweiten Messtermin war in allen Varianten zu beobachten und war somit unabhängig von Art und Menge der Düngerezufuhr (Abb. 45).

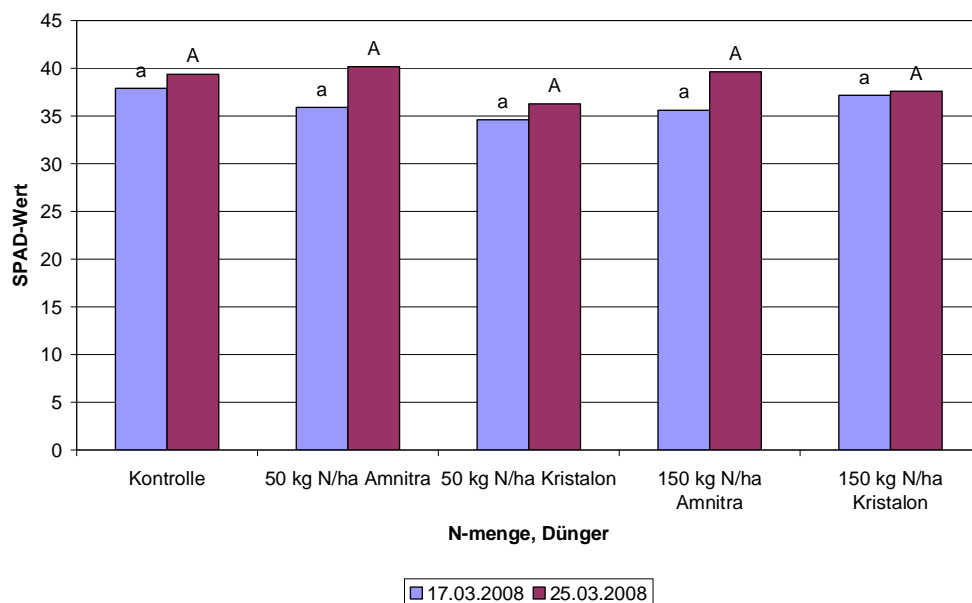


Abb. 45: SPAD-Wert eines durchschnittlichen Blattes in Abhängigkeit der N-menge und des Düngers am 17.03.2008 und 25.03.2008. Signifikanzen (a; A) innerhalb der Termine nach Tukey ($p \leq 0,05$).

4.3.3 DISKUSSION

Als ein Grundsatz in der guten fachlichen Praxis hat sich eine fachgerechte Düngung stets nach den Bedürfnissen bzw. Entzügen der Kulturpflanzen zu richten. Eine Überdüngung ist aus ökologischer wie auch aus ökonomischer Sicht zu vermeiden, zudem kann eine erhebliche Überdüngung auch zu Schädigungen der Kulturpflanzen führen (WHO, 2003). Als Gesetzesgrundlage in Deutschland gelten bei den Heil- und Gewürzpflanzen, ebenso wie bei allen anderen Kulturarten, die „Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen“ (BOMME und NAST, 1998).

Eine Versorgung der Pflanzen mit dem essentiellen Stickstoff ist für das Wachstum und die Massebildung aller heterotrophen Organismen von größter Bedeutung (FINCK 1992). Stickstoff wird von den Pflanzen (ausgenommen den Leguminosen) lediglich in gelöster Form als NO_3^- und NH_4^+ über die Wurzeln aus der Bodenlösung aufgenommen. Tendenziell nimmt die Pflanze dabei mehr Stickstoff in Form des Nitrats auf, weil erstens Nitrat im Gegensatz zu Ammonium im Boden besser beweglich ist und nicht so schnell an den Tonmineralen gebunden wird und zweitens, da Ammonium im Boden recht schnell einer bakteriellen Umwandlung (Nitrifikation) zu Nitrat unterliegt (LANDESARBEITSKREIS DÜNGUNG, 1999).

Das Bedürfnis der Pflanzen nach diesem essentiellen Nährstoff richtet sich nach mehreren Faktoren. Neben der Anzahl der Pflanzen pro Flächeneinheit, dem zu erwartenden Ertrag und der Kulturdauer bzw. dem Zeitpunkt der Ernte (verbunden mit dem physiologischen Stadium der Pflanze) spielen auch Faktoren wie z. B. Klimabedingungen, Niederschlag und Bodenzustand eine entscheidende Rolle bei der Ermittlung des Düngerbedarfs (BUNDESARBEITSKREIS DÜNGUNG, 2006).

Innerhalb der Versuchsreihe im Themenkomplex „Düngung“ wurden in den Jahren 2007 bis 2008 zwei unterschiedliche Versuche unternommen.

Aufgrund der in Kapitel 4.1 gemachten Gesamt-N Analysen der Blätter und Zwiebeln der Bärlauchpflanzen lässt sich ein ungefährender N-Entzug der Pflanzen kalkulieren. Bei drei Pflanzen pro Topf ergab sich eine theoretische Bestandesdichte von 1.200.000 Pfl/ha. wobei die Pflanzen im Durchschnitt drei Blätter aufwiesen. Bei einem N-Gehalt im Blatt von ca. 2,5 % und 3.600.000 Blättern/ha mit einem durchschnittlichen Gewicht von ca. 0,4 g TM belaufen sich die geschätzten Entzüge allein durch die Blattmasse auf 36 kg N. Entzüge in ähnlicher Höhe sind durch die Blütenbildung der Pflanzen zu erwarten, sodass sich für die oberirdischen Pflanzenorgane ein Gesamtentzug von ca. 72 kg N/ha kalkulieren lässt. Bei einem

N-Gehalt der Zwiebeln von ca. 1 % in der TM und einer durchschnittlichen TM von 0,8 g/Zwiebel muss mit Entzügen von 19 kg N/ha für die Zwiebeln gerechnet werden. Da für die Wurzel-TM keine belastbaren Daten vorliegen, ist hier nur eine Schätzung der Entzüge möglich. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der N-Gehalt in den Wurzeln etwa auf dem Niveau der Zwiebeln liegt, so dass hier noch einmal im Höchstfall mit einem Entzug von 19 kg N/ha durch die Wurzeln gerechnet werden muss. In der Summe belaufen sich demnach die kalkulierten Entzüge durch die Versuchspflanzen auf 110 kg N/ha.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass wie u.a. bei FINCK (1992) und BERTONI et al. (1991) beschrieben, die Blattfrischmasse mit steigender Düngerzufuhr anstieg. Im Vergleich zur ungedüngten Kontrollvariante konnte erst die Variante mit 100 kg N/ha einen signifikanten Ertragszuwachs von mehr als 40 % generieren, die Varianten mit 150 bzw. 200 kg N/ha konnten im Vergleich dazu keinen weiteren signifikanten Mehrertrag erzeugen. Diese Ergebnisse decken sich mit den von GREENWOOD et al. (1980) gemachten Beobachtungen bei verschiedenen *Allium spp.*, dass eine Ertragssteigerung bis zu ihrem kulturspezifischen Maximum stattfindet und danach die Erträge auf gleichem Niveau verbleiben oder sogar wieder rückläufig sein können.

Aufgrund der Tatsache, dass erst bei 100 kg N/ha ein Mehrertrag zu verzeichnen war und dass weitere N-Steigerungen keinen signifikanten Mehrertrag generieren konnten liegt die „optimale“ N-Zufuhr bei 100 kg N/ha. In dem hier beschriebenen Versuch lagen die Entzüge der Bärlauchpflanzen auf gleichem Niveau. Die Werte stützen sich hierbei auf die am Naturstandort erhobenen Daten zum N-Gehalt der Blätter und Zwiebeln sowie auf den Schätzungen der N-Gehalte in Blüten und Wurzeln. Es kann also davon ausgegangen werden, dass auch für *Allium ursinum* eine Düngung in der Höhe der Entzüge durch die Pflanze als optimal angesehen werden kann. Schon MITCHERLICH (1909) beschrieb vor über 100 Jahren das Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses (siehe Abb. 46). Demnach steigt, wie dies auch GREENWOOD et al. (1980) für verschiedene *Allium spp.* beschrieben hatten, der Ertrag pro zugeführter Düngeeinheit zunächst relativ stark bis zu dem Punkt an, wo eine zusätzlich zugeführte Düngeeinheit kaum noch einen bzw. keine Mehrertrag mehr generiert und im schlimmsten Fall sogar zu einem Ertragsrückgang führt.

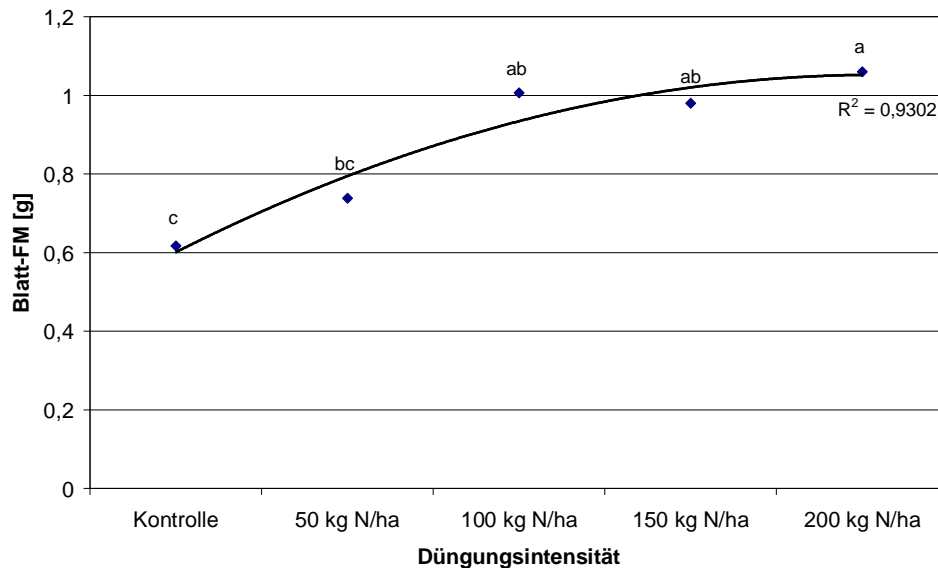


Abb. 46: Blatt-FM eines durchschnittlichen Blattes einer Pflanze am 22.04.2008 in Abhängigkeit der Düngungsintensität mit dem N-Dünger „Amnitra“. R^2 = Bestimmtheitsmaß.

Bezogen auf die Trockenmasse der Blätter zeichnet sich ein identisches Bild ab, auch hier brachte eine Erhöhung des Düngerangebots von 0 kg N/ha in der Kontrollparzelle auf 100 kg N/ha eine signifikante Massezunahme, weitere Steigerungen bis zu 200 kg N/ha zeigten keinen signifikanten Effekt in Bezug auf die 100 kg N/ha Düngermenge. Für Knoblauch machte BUWALDA (1986) die interessante Beobachtung, dass mit steigender N-Zufuhr das Verhältnis von Blatt-FM zu Blatt-TM zunahm. In seiner Arbeit wurde diese Zunahme mit einer stärker steigenden FM-Akkumulation, vermutlich durch eine erhöhte Wassereinlagerung in den Vakuolen, erklärt. In der hier vorliegenden Arbeit konnte diese Beobachtung nicht bestätigt werden. Der gebildete Quotient aus Blatt-FM/Blatt-TM schwankte zwar zwischen 2,5 und 2,1, zeigte aber in Abhängigkeit von der N-Zufuhr keinerlei Gesetzmäßigkeit.

Ein Einfluss eines gesteigerten N-Angebotes auf die Zwiebeltrockenmasse sowie auf den Fructangehalt einer durchschnittlichen Zwiebel konnte (mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %) nicht statistisch abgesichert werden. Dies stützt die These, dass der Übergang der Pflanzen in die Sommerruhe nicht durch das Erreichen einer bestimmten Masse der Speicherorgane (hier der Zwiebel) terminiert ist, sondern dass vielmehr eine bestimmte Menge an eingelagerten Kohlenhydraten diesen Phasenwechsel einleitet.

Die Betrachtungen des Fructangehaltes [mg/g TM] zeigten eine deutliche Abhängigkeit der Fructaneinlagerung in die Zwiebeln von dem N-Status. Im Vergleich

zur Kontrollvariante sowie der mit 50 kg N/ha gedüngten Variante zeigten sich bei den beiden mit 150 kg N/ha und 200 kg N/ha gedüngten Varianten die signifikant geringsten Fructanmengen. MOORBY et al. (1975) berichten in diesem Zusammenhang mit einer leicht verspätet einsetzenden Zwiebelbildung bei gut mit Stickstoff versorgten Pflanzen. Dieser Verzögerungseffekt erklärt auch die zu dem Beobachtungszeitpunkt geringeren Fructanmengen in den Zwiebeln der mit 150 kg N/ha bzw. 200 kg N/ha gedüngten Pflanzen. Diese Pflanzen sind aufgrund des hohen Stickstoffangebots vermutlich in ihrer zeitlichen Entwicklung hinter den Pflanzen mit geringerer N-Düngung zurück. MARSCHNER (2006) berichtet von einer verzögerten Pflanzenentwicklung bei Pflanzen, welche einem Nährstoffdefizit ausgesetzt sind, wobei sich seine Erkenntnisse wohl eher auf Pflanzen in einem frühen Entwicklungsstadium beziehen, wohin gegen MOORBY et al. (1975) eher einen verzögerten „Reifeprozess“ der Zwiebel (bei ausreichend bzw. übermäßig mit N versorgten Pflanzen) beschreiben.

Der ebenfalls im Jahr 2008 durchgeführte Versuch, in dem der N-Dünger „Amnitra“ gegen den ebenfalls handelsüblichen Mehrnährstoffdünger „Kristalon blau“ geprüft wurde, wies das gleiche Bild auf. Auch hier zeigte der Fructangehalt in der durchschnittlichen Zwiebel der Versuchvarianten keine signifikanten Schwankungen in Abhängigkeit der applizierten Düngerform oder -menge. Bei der Ermittlung der Zwiebelfrischmasse wiesen beide Düngerformen in der mit 150 kg N/ha gedüngten Variante die signifikant größte Frischmasse von 3.84 g je durchschnittlicher Zwiebel bei der Düngung mit „Amnitra“ und 4,22 g bei einer Düngung mit „Kristalon“ auf. Bei der anschließenden Bestimmung der Trockenmasse konnte nur noch die Variante 150 kg N/ha „Kristalon“ im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle eine höhere Masse von 1,21 g je durchschnittlicher Zwiebel aufweisen.

Bei der Untersuchung der Wurzel-TM konnte, erstaunlicher Weise, kein Effekt nachgewiesen werden. Hier wäre in Anlehnung an die Arbeit von CLARKSON und HANSON (1980) eine erhöhte Wurzel-TM bei den schlecht mit N versorgten Pflanzen zu erwarten gewesen. Im Normalfall verlagern unzureichend mit N versorgte Pflanzen große Teile ihrer Trockenmasse in die Wurzeln, um so die Wurzelmasse und somit auch die zumindest theoretisch mögliche N-Aufnahmekapazität zu erhöhen. Hierzu ist zu bemerken, dass die Beprobung der Wurzeln in allen Versuchen kritisch zu betrachten ist. Trotz äußerst sorgfältiger und vorsichtiger Arbeit, konnte nicht verhindert werden, dass teilweise Wurzeln beschädigt oder abgerissen wurden, da die Pflanzen, welche jeweils zu dritt in einem Container

gepflanzt waren, oftmals ihre Wurzeln so miteinander verwickelt hatten, dass diese nicht ohne Beschädigungen zu trennen waren. Daraus ergaben sich dann für die statistische Auswertung teils gravierende Standardabweichungen, welche im weiteren Verlauf der Varianzanalyse dazu führten, dass, selbst bei einem geänderten Signifikanzniveau von 10 % Irrtumswahrscheinlichkeit, keine Signifikanzen ermittelt werden konnten.

Stickstoff ist ein in vielen wichtigen Gerüst- und Funktionsmolekülen des pflanzlichen Organismus, wie z.B. den Aminosäuren, vorkommender, essentieller Baustoff (NULTSCH, 1996).

Er ist zudem Bestandteil des grünen Blattfarbstoffs Chlorophyll und, wie u.a. HAWKINS et al. (2009) nachwiesen, korreliert die Menge an verfügbarem Stickstoff mit der Sättigung der Grünfärbung der Blätter. Im Mesophyll der Blätter sind die Chloroplasten als Reaktionsraum der Photosynthese angesiedelt. Diese Zellorganellen sind bei den höheren Pflanzen für deren Grünfärbung verantwortlich. Nach MARSCHNER (2006) ist in den Chloroplasten bis zu 75 % des im grünen Blatt vorhandenen organischen N gebunden. Die im Chloroplasten lokalisierten, photosynthetisch aktiven Chlorophylle besitzen ein Porphyrinringsystem, in dem das Mg-Zentralatom von vier N-Atomen im Ringzentrum stabilisiert wird (NULTSCH, 1996). Ist die N-Aufnahme der Pflanzen durch z.B. fehlende Düngung limitiert, steht der Pflanze auch nicht genügend Stickstoff zum Aufbau der Chlorophyllmoleküle zur Verfügung. Zu erwarten wäre demnach eine stärkere Grünfärbung bei gut mit N versorgten Pflanzen bzw. eine schwächere Ausprägung der Grünfärbung der Blätter bei unzureichend mit N versorgten Pflanzen gewesen.

Umso erstaunlicher waren die Ergebnisse der nicht invasiven Chlorophyllmessung mittels SPAD-Meter, die keinerlei Unterschiede in der Farbsättigung der Blätter bei den unterschiedlichen Düngungsniveaus zeigte.

Festzuhalten bleibt, dass eine gezielte Düngung einen Mehrertrag an Frischmasse der Blätter generiert und somit zu einer Erhöhung der Erntemenge beiträgt. Die Düngung richtet sich dabei stets nach den Entzügen der Pflanzen sowie der Nährstoffverfügbarkeit im Boden. Da in den Gefäßversuchen als Substrat die nicht aufgedüngte 0-Erde, ein Gemisch hauptsächlich aus Torf bestehend, verwendet wurde, war eine Nachlieferung durch das Substrat nicht zu erwarten. Vor allem die Ergebnisse des Versuchs mit dem N-Dünger zeigten aufgrund ihrer feineren Abstufung der geprüften Düngungsintensitäten, dass eine N-Zufuhr zwischen 50 bis 100 kg N als ideale Düngemenge anzustreben ist. Allerdings ist darauf hinzuweisen,

dass in den Versuchen die Düngergabe in mehreren Teilgaben erfolgte, um einerseits Auswaschungen und andererseits Bindungsprozesse im Substrat zu verhindern und damit sicher zu stellen, dass die Düngergabe den Pflanzen im vollem Umfang zur Verfügung stand. Eine Verbesserung der optischen Qualität in Form einer verstärkten Grünfärbung der Blätter durch steigende N-Gaben konnte nicht verwirklicht werden.

4.4 Regulierung der Lichtintensität am Kulturstandort

In vielerlei Hinsicht ist der Faktor Licht für die Pflanzen essentiell. Einerseits wird für die Photosynthese und die damit verbundene Kohlenstofffixierung Sonnenlicht benötigt, andererseits kann zu viel Licht auch negativen Stress für die Pflanzen und deren Stoffwechsel bedeuten.

Die unterschiedlichen Aussagen über die Lichtansprüche der Pflanze Bärlauch in der Literatur machen eine genauere Betrachtung dieses Faktors unumgänglich.

Ab 2006 wurden daher in drei aufeinander folgenden Jahren Versuche angelegt, um Aussagen unter kontrollierten Bedingungen an einem etablierten Beetbestand zu generieren, die den Einflussfaktor Licht auf die Bärlauchpflanze und deren Entwicklung prüfen.

4.4.1 MATERIAL UND METHODEN

4.4.1.1 Beschattung der Versuchsparzellen am Standort Wesseling

4.4.1.1.1 Versuchsstandort

Die LFS Marhof in Wesseling liegt auf der Mittelterrasse des Rheins, als Bodenart liegt ein sandiger Lehm Boden, aus Löss entstanden, vor. Der Boden ist als Braunerde bzw. Parabraunerde anzusprechen. Aufgrund der hohen Bodenzahl von ca. 80 eignet sich der Boden hervorragend für den Anbau von Intensivkulturen.

Das Klima am Standort Wesseling ist maritim beeinflusst mit Sommertemperaturen über 30 °C und Wintertemperaturen unter dem Gefrierpunkt. Die langjährige Jahresmitteltemperatur liegt bei 9,9 °C (Abb. 47); die Vegetationsperiode erstreckt sich von Mitte März bis Anfang Dezember. Mit einem jährlichen, relativ gleichmäßig über die Monate verteilten Jahresniederschlag von 633 mm und einer nutzbaren Bodenfeuchte von 230 mm H₂O bis zu 1 m Bodentiefe bietet der Standort eine ausreichende Wasserversorgung für die meisten in der Region typischen Ackerpflanzen. Im Intensivgemüsebau hingegen ist eine Bewässerung, zumindest in der Hauptwachstumsphase der Kulturpflanzen unumgänglich.

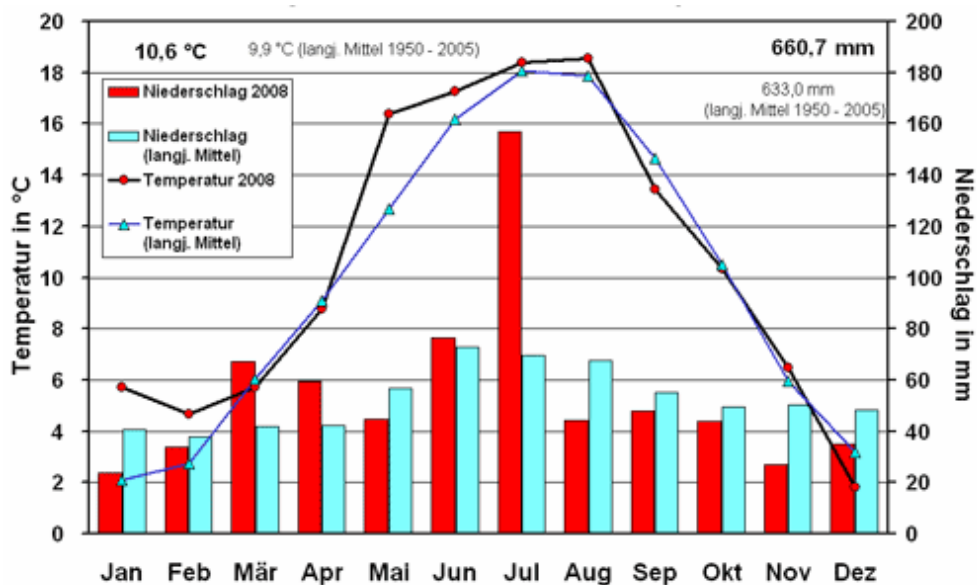


Abb. 47 : Klimadiagramm für das Jahr 2008 der LFS Dikopshof, ca. 2 km Luftlinie entfernt von der Lehr- und Forschungsstation Marhof in Wesseling. Aus: <http://www.uf.uni-bonn.de/versuchsgueter/Dikopshof/de/Betrieb/Lage/index.html>.

4.4.1.1.2 Kulturführung

Am 28.03.2006 wurde mit ca. 5000 Jungpflanzen ein Bestand auf der Lehr- und Forschungsstation Marhof der Universität Bonn etabliert.

Die bereits ausgetriebenen Pflanzen wurden mit einer dreireihigen Bandpflanzmaschine der Firma PLANTAR mit einem Reihenabstand von 60 cm und einem Abstand in der Reihe von 13 cm ca. 6 cm tief gepflanzt, so dass sich eine theoretische Bestandesdichte von 130.000 Pfl/ha ergab. Als Grundbodenbearbeitung wurde vor der Pflanzung gegrubbert und anschließend gefräst. Aufgrund der hervorragenden Bodenverhältnisse und der durch Gemüsebau geprägten Nutzung war eine Düngung des Bestandes nicht notwendig. Bodenproben der Fläche, die zur Untersuchung zur LUFA versandt wurden, wiesen zum Zeitpunkt der Pflanzung einen N_{\min} -Gehalt von 36 kg/ha in einer Bodentiefe 0 – 60 cm auf. Anfang August nochmals zur LUFA gesandte Bodenproben wiesen einen Wert von 58 kg/ha N_{\min} auf. Die Pflanzen waren somit zu jeder Zeit ausreichend mit dem Hauptnährelement Stickstoff versorgt. Die Analyse der restlichen Hauptnährelemente zeigte ebenfalls eine „Normalversorgung“ der Stufe „C“ an, so dass keine weitere Düngung notwendig war.

Nach Bedarf wurde die Fläche mit Brunnenwasser in Höhe von 10 – 15 l/m², wie bei DACHLER und PELZMANN (1999) empfohlen, künstlich beregnet. Die Versuchsfläche wurde mit Handhacke in den Versuchspartellen sowie mit einer

zapfwellengetriebenen Reihenhackbürste der Firma BÄRTSCHI unkrautfrei gehalten; Nach dem vollständigen Einziehen der Pflanzen im Herbst wurde die Fläche mit dem Totalherbizid BASTA (4 l/ha, Bayer Crop Science) laut Packungsbeilage behandelt. Besonders hartnäckige Unkräuter, wie der an diesem Standort verstärkt auftretende Löwenzahn wurden zusätzlich mit SIMPLEX (Dow Agro Sciences) laut Packungsbeilage im Streichverfahren behandelt.

4.4.1.1.3 Versuchsaufbau

In 2006 wurde ein erster „Tastversuch“ gestartet, in dem 2 x 2 m große und 40 cm hohe Holzgestelle mit Netzen verschiedener Maschenweite bespannt und über jeweils drei Pflanzenreihen gestellt wurden (Abb. 48). Der Versuch wurde als vollständig randomisierte Blockanlage mit vierfacher Wiederholung angelegt, zeitgleich mit dem Beginn der Belaubung der Bäume im Raum Wesseling Mitte März begonnen und erst nach dem vollständigen Absterben der Versuchspflanzen beendet.

Der Faktor „Einstrahlung“ wurde neben der unbeschatteten Kontrollvariante eingeteilt in „starke“ und „leichte“ Beschattung.



Abb. 48: Versuchsaufbau zur Regulierung der eintreffenden Lichtintensität auf der Freilandfläche der LFS Marhof in 2006.

In 2007 wurden der Versuchsaufbau weiter modifiziert und verbessert. Wiederum wurde ein Versuch in vierfacher Wiederholung und dreifacher Abstufung des zu untersuchenden Faktors „Einstrahlung“ auf der Freilandfläche der LFS Marhof in Wesseling angelegt. Der Versuch wurde in zweifacher Hinsicht angepasst:

1. Als Beschattungsmaterialien dienen nun mit Aluminium beschichtete Netze aus dem Gewächshausbedarf der Firma TGU. Die Netze sind aufgrund ihrer Webart unterschiedlich durchlässig für die Lichtstrahlung; zudem sind sie wasser- und luftdurchlässig. Verwendung fanden die Netze „PH 55 open“ sowie „PH 77 open“, welche nach Herstellerangaben 55 % bzw. 77 % der eintreffenden Strahlung absorbieren bzw. reflektieren (Abb. 49).

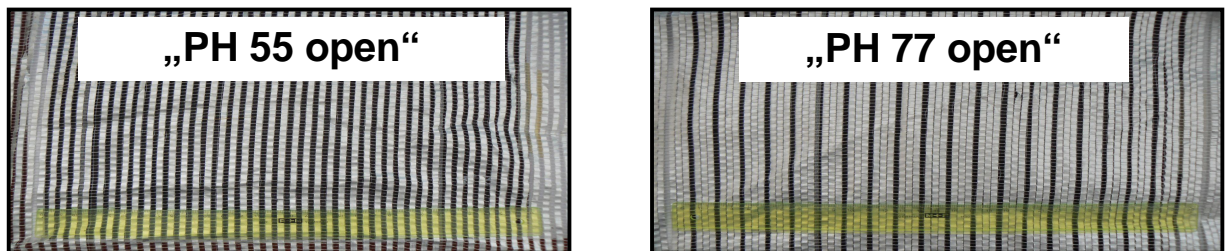


Abb. 49: Beschattungsnetze „PH 55 open“ und „PH 77 open“ der Firma TGU.

2. Die Netze wurden nicht auf die schon in 2006 verwendeten Gestelle gespannt, sondern es wurden mit Hilfe von Spanneisen Tunnel errichtet, welche es erlaubten, die einzelnen Parzellen sowohl von oben, als auch von den Seiten zu beschatten, so dass auch die diffuse Strahlung abgeschirmt werden konnte (Abb. 50).



Abb. 50: Versuchsaufbau auf der Freilandfläche der LFS Marhof 2007.

In 2008 wurde der Versuch aus 2007 noch einmal wiederholt. Die Beschattungsvariante „PH 55 open“ wurde jedoch durch die deutlich dichtere Variante „PH 88 open“ ersetzt. Alle anderen Faktoren wurden wie schon im Jahr zuvor beeinflusst bzw. bestimmt.

4.4.1.1.4 Datenerhebung

Als Voraussetzung für die Durchführung der Versuche galt es, die verwendeten Materialien und den Aufbau des Versuchs so zu wählen, dass c.p. lediglich der Faktor Einstrahlung beeinflusst wurde. Die zu den unterschiedlichen Entwicklungsstadien zu beprobenden Pflanzen wurden im Vorfeld markiert. Im ersten Versuchsjahr 2006 wurden Pflanzen des Juvenilstadiums (einblättrig) und Pflanzen, welche sich bereits im Adultstadium (zweiblättrig mit Infloreszenz) befanden, für die späteren Beprobungen markiert. Da sich bereits im zweiten Standjahr die Bestandesstruktur deutlich verändert hatte, wurden in den darauf folgenden zwei Versuchsjahren die Pflanzen bzw. ramets anhand ihrer Blatt- und Scheindoldenanzahl klassifiziert, um eine ausreichende Probenmenge bei gleichzeitiger Wahrung der Gleichheit der Probenglieder der einzelnen Varianten zu gewährleisten. Es wurden je Variante und Wiederholung zu jedem Probenahmetermin vier Pflanzen entnommen, so dass insgesamt sechzehn Pflanzen pro Variante und Probenahmetermin zur Auswertung zur Verfügung standen. Die Beprobung und Entnahme der Pflanzen erfolgte immer am frühen Vormittag, um eventuell auftretende tageszeitliche Umverlagerungen innerhalb der Pflanzen und daraus resultierende Verfälschungen der Messergebnisse zwischen den verschiedenen Probennahmeterminen zu vermeiden. Kulturmaßnahmen wie Bewässern bzw. Unkraut jäten wurden zwei Tage vor den Ernte- bzw. Beprobungsterminen unterbrochen, um z.B. eine eventuell mögliche Mineralisierung von Nährstoffen zu vermeiden. Weiterhin wurden Temperatur und relative Luftfeuchte in den Parzellen mit ELV-Loggern in stündlichen Intervallen aufgezeichnet. In den Versuchsparzellen wurde der Niederschlag mittels handelsüblicher Regenmesser erfasst.

Die Bodenfeuchte wurde in einer Tiefe von 0 – 30 cm gravimetrisch bestimmt.

In allen Versuchsjahren wurde die Einstrahlung in die Parzellen mittels Optometern Xoneone der Firma Gigahertz-Optik mit angeschlossenen Triple-Head-Messköpfen bestimmt. Die Optometer können die einfallende Einstrahlung getrennt nach Wellenlängen für UV-A (320 – 400 nm), UV-B (280 – 320 nm) und PAR (400 – 720 nm) aufzeichnen. Die Messungen erfolgten immer zur Mittagszeit und jeweils in allen drei Versuchsvarianten zeitgleich. Zuvor waren die Messköpfe im Helmholtz-Zentrum in Jülich auf ihre Messgenauigkeit überprüft worden.

4.4.1.2 Abdeckung der Freilandparzellen mit praxisüblichen Abdeckungsmaterialien am Standort Reken

4.4.1.2.1 Versuchsstandort Reken

In 2007 wurde am Ackerstandort nahe dem Ort Reken im Münsterland auf einer Fläche von 2.500 m² ein Bärlauchbestand etabliert. Die Fläche gehört einem ortsansässigen Landwirt, welcher auch, aufgrund der großen Entfernung zwischen dem Versuchsfeld und den restlichen Versuchsflächen in Wesseling bzw. Bonn, die Betreuung, in enger Absprache mit den Versuchsanstellern, übernommen hat.

Der Boden ist ein lehmiger Sandboden, wie er für die Region typisch ist. Der Jahresniederschlag liegt bei ca. 800 mm und die Jahresdurchschnittstemperatur bei 9 °C (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (HSG.)). Die mit Bärlauch bepflanzte Fläche befindet sich am Rand eines kleinen Hügels in exponierter Lage.

4.4.1.2.2 Kulturführung

Auf der am 3.11.2006 etablierten Freilandfläche in Reken wurden auf einer Fläche von ca. 50 m * 50 m = 2500 m² insgesamt ca. 70.000 Zwiebeln entsprechend ca. 28 Pflanzen/m² gepflanzt. Die Pflanzung erfolgte mit einer fünfreihegen Accord-Pflanzmaschine, die in jeder Pflanzreihe mittels zwei vorlaufender Sechsscheiben eine Rille bildet, in die dann die Zwiebeln in eine Tiefe von ca. 5 cm abgelegt werden können. Zwei nachlaufende Sechsscheiben mit gekoppelter Walze zur Rückverfestigung bedecken die in die Rillen gelegten Zwiebeln anschließend mit Erde (Abb. 51).

Der Abstand in der Reihe lag im Mittel bei 10 cm. Im Vorfeld der Pflanzung wurde der Boden gegrubbert und mit Walzen rückverfestigt.



Abb. 51: Bestandesetablierung mit Accord-Pflanzmaschine.

4.4.1.2.3 Versuchsaufbau

Am 22.01.2007 wurden über jeweils zwei Beete = 10 Reihen auf einer Länge von 10 m (= 30 m²) Folie und Vlies (Covertan) in verschiedenen Variationen gelegt. Dazu wurden die vier Varianten in vierfacher Wiederholung als randomisierte Blockanlage auf dem Feld angelegt.

Bei den Varianten handelt es sich um:

- K= Kontrolle
- V= Vlies (17 g/m²)
- D= doppelagiges Vlies (34 g/m²)
- VF= Vlies und Folie

Die nahezu rechteckige Feldfläche wurde für die Versuche in vier gleich große Rechtecke, die als Blöcke (= Wiederholungen) dienten, unterteilt.

Bei allen Abdeckungsvarianten handelte es sich um praxisübliche Materialien und Abdeckungsvarianten, die wie folgt auf der Versuchsfläche angelegt wurden (Abb. 52).

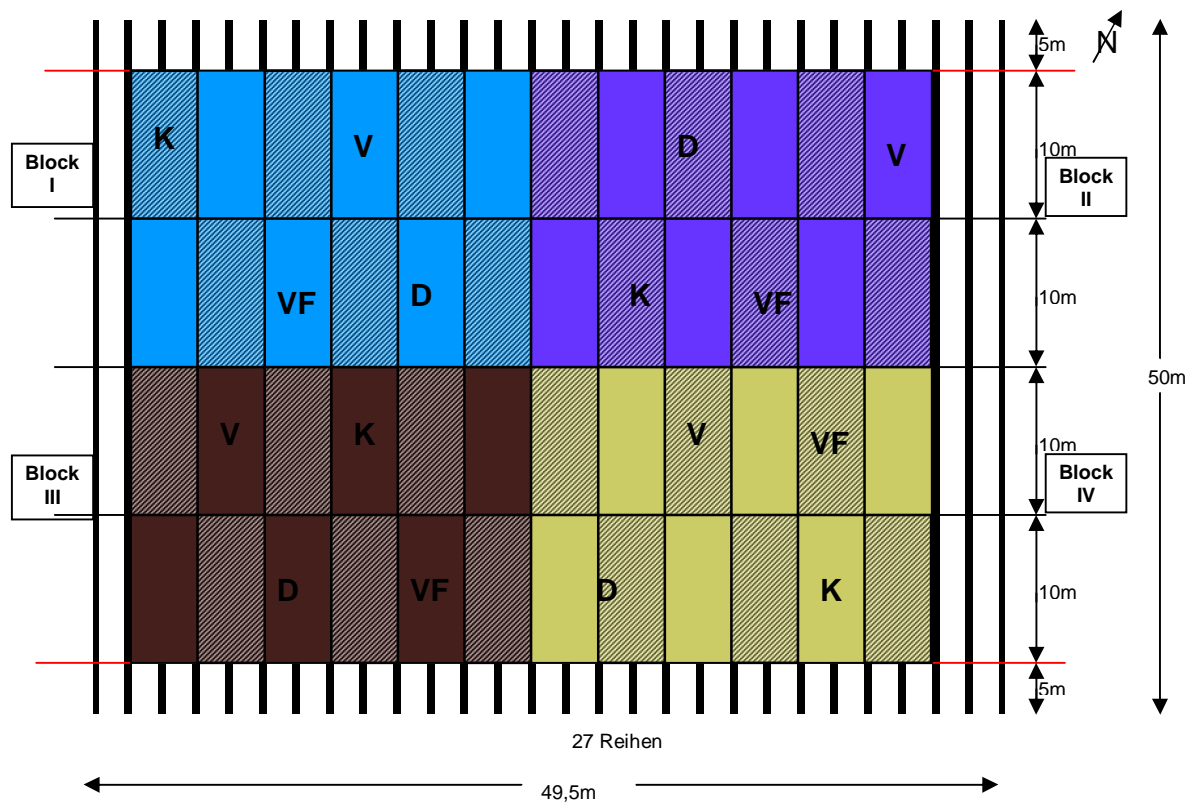


Abb. 52: Versuchsaufbau mit verschiedenen Abdeckungsvarianten auf dem Versuchsfeld in Reken.

Alle drei Abdeckungsvarianten wurden Anfang Februar 2007 über die Versuchsparzellen gelegt, und, wie in der Praxis üblich, punktwise mit Erde beschwert (vgl. WONNEBERGER, 2004). In jeweils eine der drei oben genannten Versuchsvarianten wurden jeweils zwei ELV-Logger zur stündlichen Aufnahme von Temperatur und relativer Luftfeuchte ausgelegt.

In 2008 wurde der Versuch in optimierter Form wiederholt. Der Vorjahresversuch hatte gezeigt, dass die über die jungen Bärlauchpflanzen gelegten Vliese bzw. die Vlies-Folienkombinationen die Pflanzen besonders bei starkem Wind beschädigten. Aus diesem Grund wurde der Versuch in 2008 dahingehend abgeändert, dass die Vliese, wie auch in den Versuchen auf der Freifläche der LFS Marhof, über Spanneisen in Form eines Tunnels gezogen wurden. Die Tunnel wurden dabei relativ klein (Maximalhöhe 0,4 m) gehalten, um den unter ihnen befindlichen Luftraum kleinstmöglich zu halten (vgl. Abb. 53). Der Versuch wurde weiterhin verändert, in dem die Vlies-Folien-Kombination nicht weiter geprüft wurde; lediglich die beiden unterschiedlich schweren Vliese wurden gegen die unabgedeckte Kontrolle geprüft.



Abb. 53: Versuchsaufbau am Standort Reken 2008.

4.4.1.2.4 Datenerhebung

In den Tunneln wurden jeweils zwei ELV Logger installiert, die stündlich Temperaturdaten und Daten zur relativen Luftfeuchte aufzeichnen. Die unter den Tunneln eintreffende Einstrahlung wurde mittels der Triple-Head Optometer der Firma Gigahertz-Optik erfasst. Auch hier wurde zeitgleich in den vier bzw. drei Versuchsvarianten gemessen. An zwei Probenahmeterminen wurden am Standort Reken pro Variante und Wiederholung fünf Pflanzen entnommen. Für die ca. zweistündige Fahrt ins Bonner Labor wurden die Pflanzen in PE-Beutel verpackt und in einer Kühlbox gelagert.

4.4.2 ERGEBNISSE

4.4.2.1 Standort Wesseling

4.4.2.1.1 Beeinflussung der Standortfaktoren durch die Beschattungsnetze

2007 wurde an zwei Terminen die Einstrahlung (PAR) in den Versuchspartzen am Freilandstandort in Wesseling gemessen. Die unbeschatteten Kontrollpartzen wurden im Jahr 2007 mit den Varianten „PH 55 open“ (Reduktion der eintreffenden Strahlung um 55 %) und „PH 77 open“ (Reduktion der Einstrahlung um 77 %) verglichen; im Versuchsjahr 2008 wurden die Varianten „PH 55 open“ durch die Variante „PH 88 open“ (Reduktion der Einstrahlung um 88 %) ersetzt.

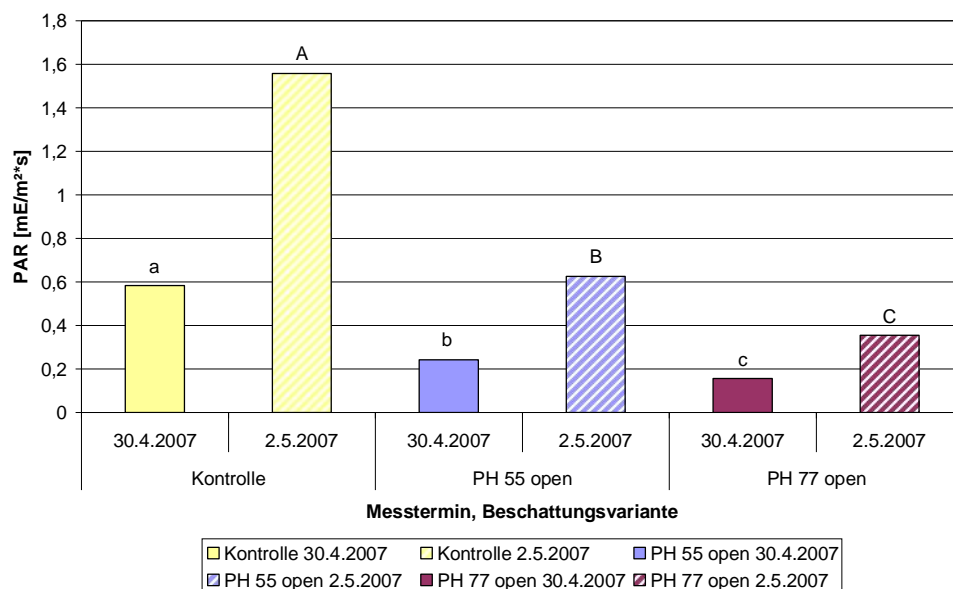


Abb. 54: Lichtintensität unter verschiedenen Beschattungsmaterialien im Vergleich zur unbeschatteten Kontrolle an zwei Messterminen (30.04.2007 bewölkt; 02.05.2007 unbewölkt). Signifikanzen (a – c; A – C) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Die Daten vom 30.04.2007, einem leicht bewölkten Tag zeigten eine deutliche Abstufung der Einstrahlung in die Versuchsvarianten, die mit steigender Beschattungsintensität signifikant abnahm. Die gleiche Aussage traf auch für die Messung am 02.05.2007, einem sehr sonnigen Tag, zu. Hier lagen die ermittelten Einstrahlungswerte in den Versuchspartzen auf wesentlich höherem Niveau, ebenfalls war jedoch die signifikante Abnahme der Einstrahlung in den beschatteten Partzen zu beobachten (Abb. 54).

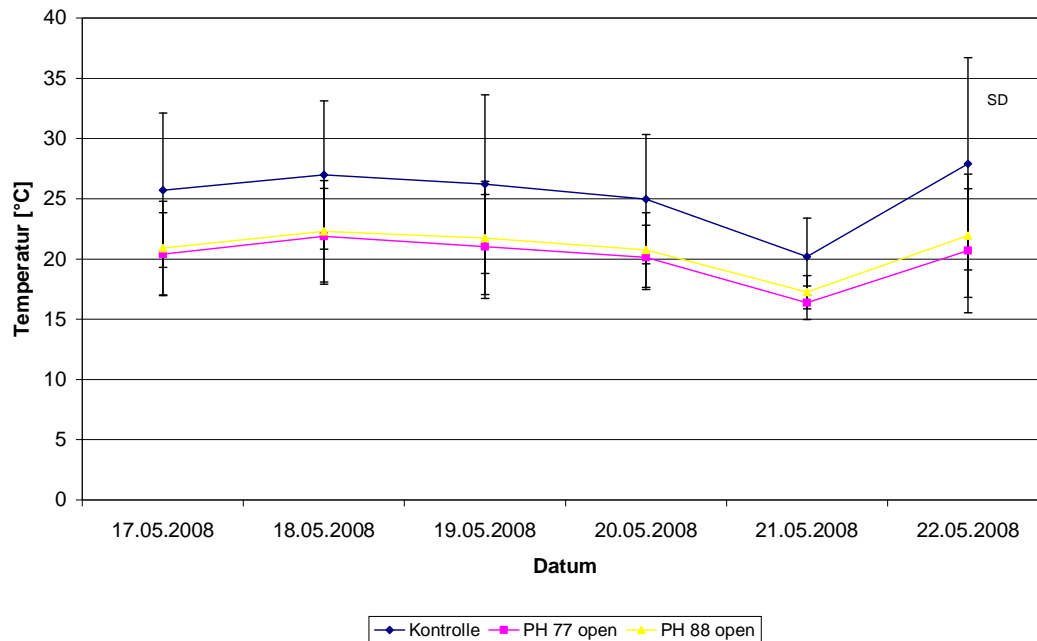


Abb. 55: Durchschnittliche Tagestemperatur in den Versuchspartzen exemplarisch dargestellt für den Zeitraum 17.05.2008 bis 22.05.2008. SD = Standardabweichung.

Die in Abbildung 55 für den Zeitraum 17.05.2007 bis 22.05.2007 dargestellte Temperatur in den Versuchspartzen zeigte in allen Varianten einen einheitlichen Verlauf; in den unbeschatteten Kontrollpartzen liegt die Temperatur zwar etwas höher, weicht aber nicht signifikant von den Temperaturen in den Versuchspartzen ab.

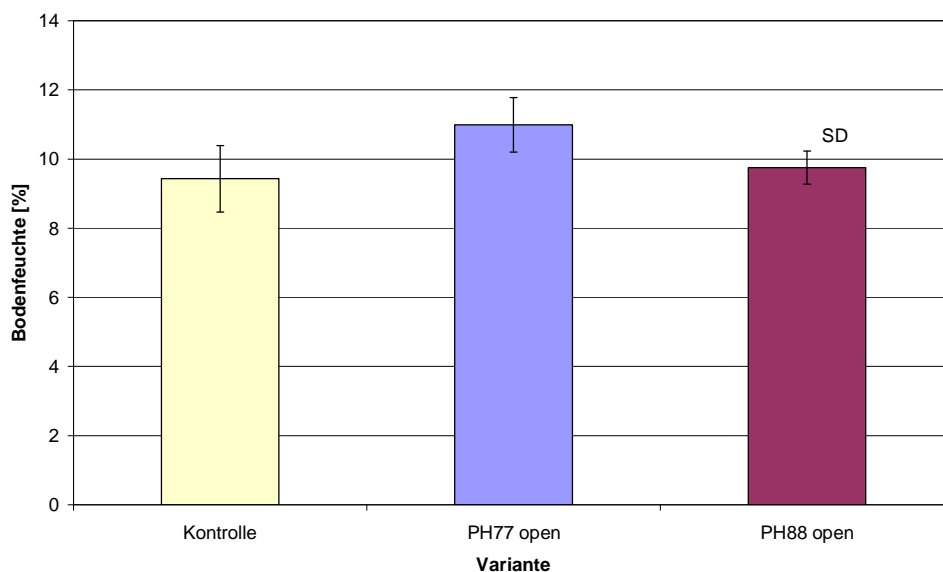


Abb. 56: Gravimetrische Bestimmung der Bodenfeuchte aus einer Bodentiefe 0 – 20 cm in den Versuchspartzen im Jahr 2008 durch Trocknung der Bodenproben bei 105 °C bis zur Gewichtskonstante. SD = Standardabweichung.

Die dargestellten, gravimetrisch ermittelten Bodenfeuchten in den Versuchspartzellen in einer Tiefe von 0 – 30 cm zeigten, hier exemplarisch für einen Probentermin dargestellt, keine signifikanten Unterschiede (Abb. 56).

4.4.2.1.2 Pflanzen- und Ertragsentwicklung in Abhängigkeit der Einstrahlung

Betrachtet man die FM der gesamten Pflanze für jeden der Probenahmetermine einzeln (Abb. 57), so fällt auf, dass die stark beschattete Variante (PH 77 open) bis auf den ersten, dritten und letzten Messtermin eine signifikant höhere FM erreichte als die Pflanzen aus den Kontrollparzellen. Die Pflanzen der mit nur 55 % beschatteten Parzellen zeigten kein einheitliches Verhalten während ihrer Vegetationsphase. Zumeist lagen deren Werte für die FM der Gesamtpflanze zumindest tendenziell über denen der Kontrolle und bis auf den dritten, vierten und letzten Messtermin unter den FM-Werten der mit 77 % beschatteten Parzellen. Zum optimalen Erntezeitpunkt am 04.05.2007 bzw. 14.05.2007 (kurz vor dem Öffnen der Blüten) war die Gesamtfrischmasse der stark beschatteten Pflanzen tendenziell bzw. signifikant (14.05.2007) höher als bei den Pflanzen der übrigen Versuchspartzellen.

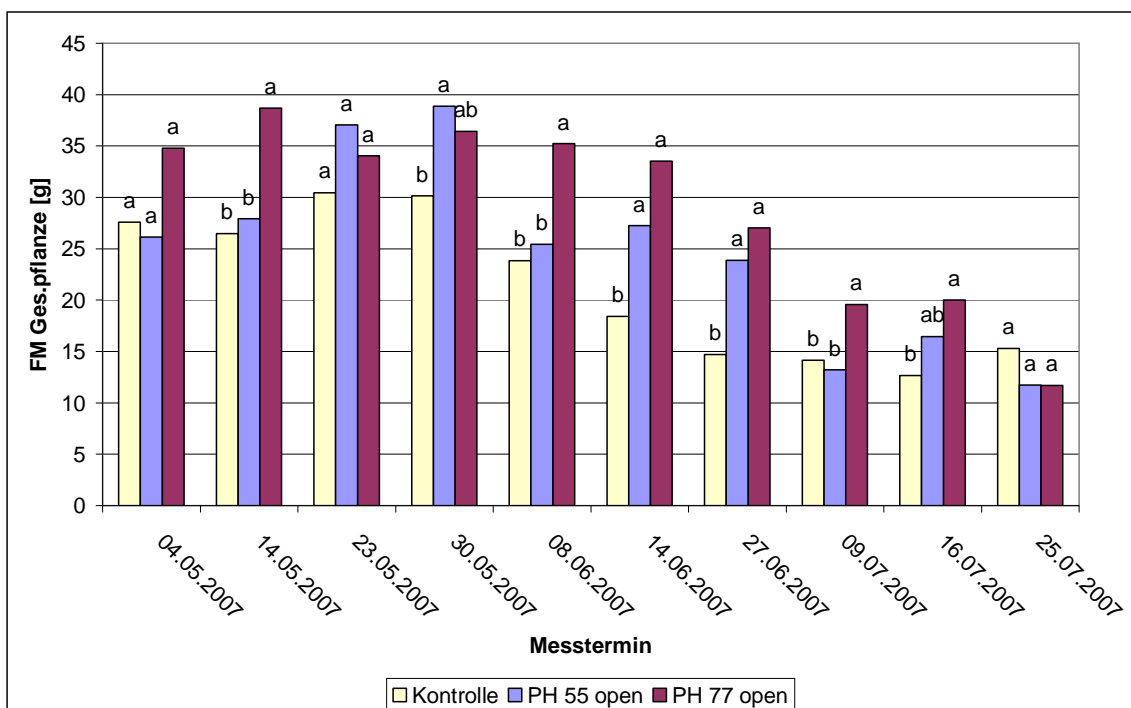


Abb. 57: FM der Gesamtpflanze im Jahr 2007 in Abhängigkeit der einfallenden Lichtmenge an zehn aufeinander folgenden Probenahmeterminen. Signifikanz (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Zusammen mit den Frisch- und Trockenmassen der Blätter lässt die Messung der Blattfläche, in Abbildung 58 dargestellt, eine genaue Aussage über den Ertrag der Pflanzen, welcher sich lediglich aus den Blättern generieren lässt, zu. In 2007 konnten zum optimalen Zeitpunkt der Ernte die größten Blattflächen bei den Pflanzen der stark beschatteten Versuchspartzellen ermittelt werden. Auch die Pflanzen der weniger stark beschatteten PH 55 Variante bildeten eine größere Blattfläche als die Pflanzen aus den unbeschatteten Kontrollpartzellen.

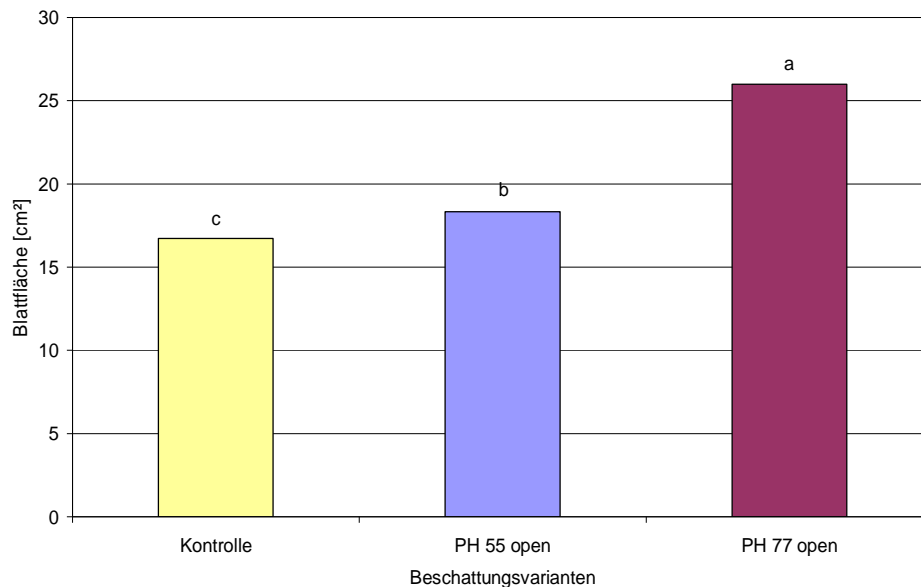


Abb. 58: Einfluss der Beschattungsvarianten auf die Fläche eines durchschnittl. Blattes einer Pflanze im Vergleich zur unbeschatteten Kontrolle am 14.05.2007. Signifikanzen (a - c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

In 2008 konnten, ebenfalls zum optimalen Erntetermin, die Beobachtungen aus 2007 bestätigt werden. Während in diesem Jahr die Pflanzen der PH 77 Varianten nur tendenziell größere Blätter bildeten als die Pflanzen der unbeschatteten Kontrolle wiesen die Pflanzen der mit 88 % beschatteten Pflanzen die signifikant größten Blätter auf. Zusätzlich lässt sich aus den beiden Abbildungen 58 und 59 eine deutliche Steigerung der durchschnittlichen Blattfläche im folgenden Standjahr 2008 in allen Varianten erkennen.

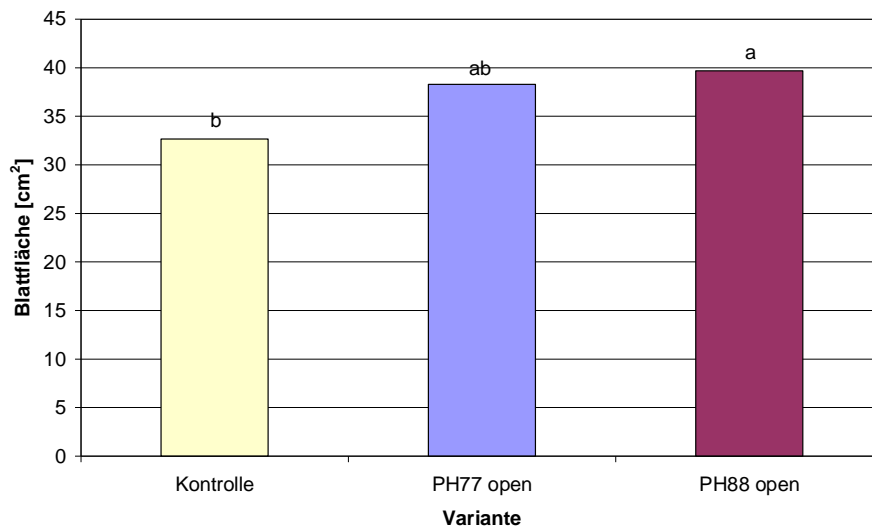


Abb. 59: Durchschnittliche Fläche eines Pflanzenblattes aus den Versuchspartzen am 25.04.2008 (optimaler Erntezeitpunkt) als MW aus allen Blättern einer Pflanze. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abbildung 60 zeigt für sechs aufeinander folgende Termine die Blattfrischmassen eines durchschnittlichen Blattes einer Pflanze in den drei getesteten Versuchsvarianten. Am deutlichsten zu erkennen war die Abnahme der Blattfrischmasse der unbeschatteten Pflanzen als Zeichen einer einsetzenden Seneszenz, wohingegen vor allem die mit 77 % beschatteten Versuchspflanzen bis zum Ende der Messungen eine Blattfrischmasse auf annähernd konstantem Niveau aufwiesen.

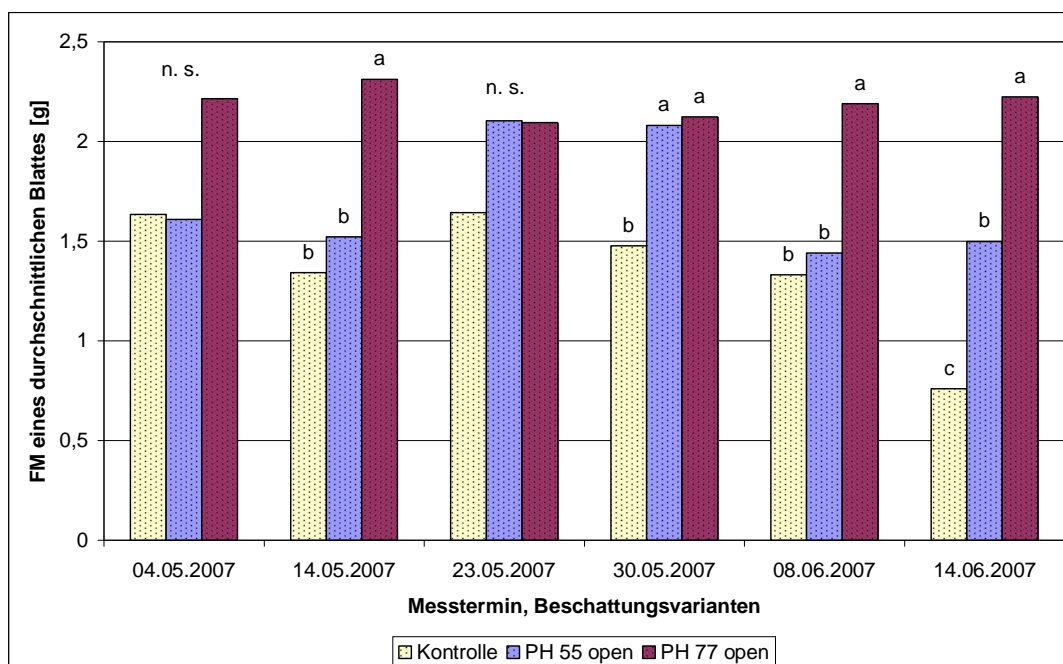


Abb. 60: Frischmasse eines durchschnittl. Blattes in Abhängigkeit der einfallenden Lichtmenge an sechs aufeinander folgenden Probenahmetermen in 2007. Signifikanzen (a – c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Der Verlauf der Frischmasse des größten Blattes der Pflanzen aus den Kontroll- und PH 77-Parzellen zeigte, dass an allen zehn Messterminen die schwersten Blätter (oftmals sogar signifikant) immer in der beschatteten Variante zu finden waren. Zusätzlich fiel auf, dass die ermittelten Frischmassewerte bei den Pflanzen aus den Kontrollparzellen deutlich früher absanken, während die Blattfrischmassen der beschatteten Pflanzen länger auf hohem Niveau konstant blieben (Abb. 61).

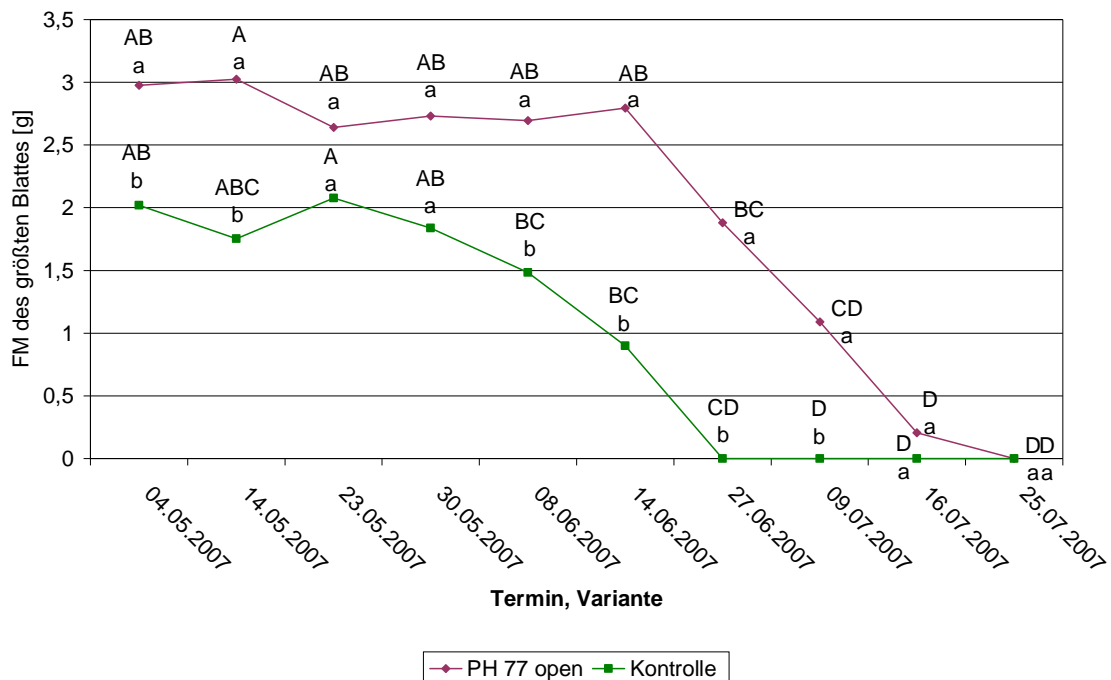


Abb. 61: Frischmasse des jeweils größten Blattes der Pflanzen aus den Kontrollparzellen und der Variante PH 77 open an zehn Messterminen zwischen dem 04.05.2007 und dem 25.07.2007. Signifikanzen (a – b) zwischen den Varianten an jeweils einem Termin und Signifikanzen (A – D) jeweils innerhalb der beiden Varianten zwischen den zehn Messterminen nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Nicht signifikant verschieden waren die Trockenmassen der für diesen Zeitpunkt ausgewählten Blätter im Versuchsjahr 2008 (Abb. 62). Interessant ist die Feststellung, dass sich die Blatttrockenmassen reziprok zu den Blattfrischmassen verhielten. Obwohl die Blätter aus den Kontrollparzellen die (tendenziell) geringste Blattfrischmasse aufwiesen, zeigten sie nach der Trocknung mit einem Trockenmasseanteil von ca. 12 % die höchsten Trockenmassen in Relation zur Frischmassen. Die Varianten mit der 77 % und 88 % Beschattung lagen mit ca. 8,5 % sowie 9,5 % auf einem deutlich niedrigerem Niveau.

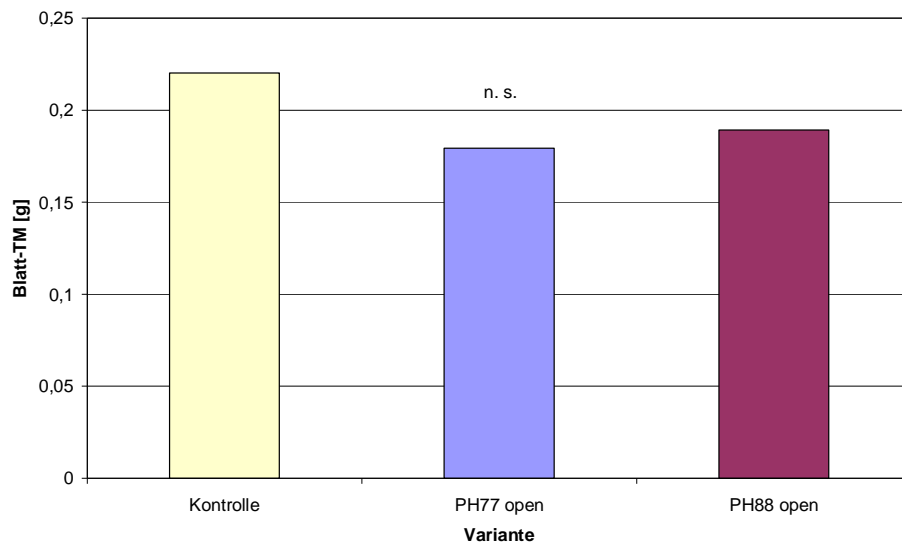


Abb. 62: Trockenmasse eines durchschnittl. Blattes einer Pflanze aus den Versuchspartzen am 25.04.2008 in Abhängigkeit der Einstrahlungsmenge; Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Bildet man wie in unten stehender Abbildung 63 das Verhältnis aus oberirdischer Frischmasse (aus Blättern und Blüten) dividiert durch die unterirdischen Pflanzenorgane (Zwiebeln und Wurzeln) so erhält man die „Shoot to Root“ Ratio, welche hier wiederum keine Signifikanzen aufzeigte. Tendenziell bildeten die Pflanzen der beiden beschatteten Varianten am 25.04.2008 mehr oberirdischen Aufwuchs im Verhältnis zu ihren unterirdischen Organen, als die Pflanzen der Kontrollpartzen.

Das zu einem späteren Zeitpunkt (06.05.2008) betrachtete „Shoot to Root“ Verhältnis lässt klarere Aussagen zu. Hier waren die Verhältnisse der oberirdischen zu den unterirdischen Pflanzenteilen deutlich zu Gunsten der Pflanzen in den beschatteten Partzen verschoben. Dies lag zum einen an der in der Kontrollpartze früher einsetzenden Seneszenz der Blätter und zum anderen an der damit verbundenen Einlagerung der Reservestoffe aus den seneszenten Blättern in die unterirdischen Speicherorgane.

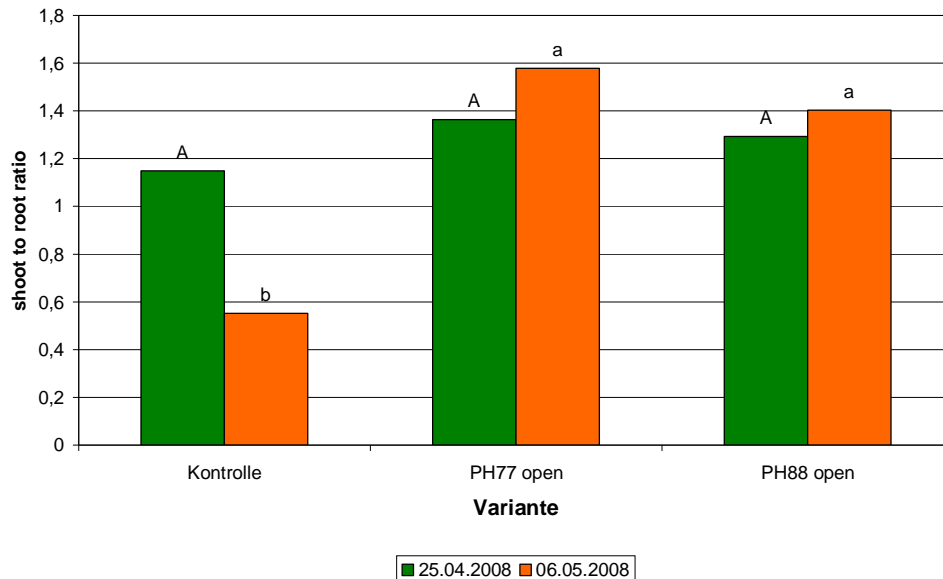


Abb. 63: Shoot to Root Ratio am 25.04.2008 und 06.05.2008 gebildet aus der FM der oberirdischen Pflanzenteile/ FM unterirdischen Pflanzenteile in Abhängigkeit der Einstrahlungsmenge; Signifikanzen (A und a -b) jeweils innerhalb der beiden Messtermine nach Tukey ($p \leq 0,05$).

4.4.2.1.3 Beeinflussung der optischen Qualität der Pflanzen

Außer am dritten Messtermin (und am achten Messtermin im Vergleich zur Variante PH 55 open) waren die Blätter der mit 77 % beschatteten Pflanzen signifikant stärker grün gefärbt als die Pflanzen der Kontrollparzellen und der mit 55 % beschatteten Parzellen. Weiterhin war der stärkere Rückgang der Blattfärbung im Zeitverlauf als Zeichen der Seneszenz der Blätter bei diesen beiden Varianten zu erkennen. Die Blätter der PH 77 open Variante, analog zu den Betrachtungen der Blattfrischmasse, verloren weniger stark an Grünfärbung (Abb. 64).

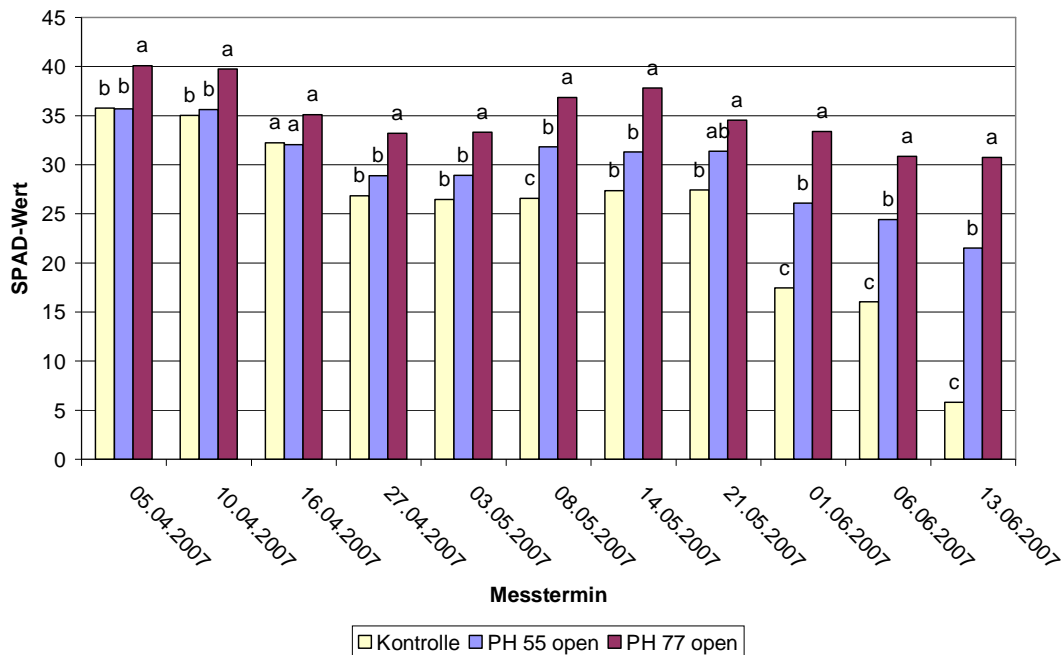


Abb. 64: SPAD-Wert des durchschnittl. Blattes in Abhängigkeit der einfallenden Lichtmenge an zehn aufeinander folgenden Messterminen. Signifikanzen (a- c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Bereits ab dem 27.04.2007 waren die Differenzen im L-Wert zwischen den beiden beschatteten Varianten und der unbeschatteten Kontrolle signifikant. Während alle Kurven den grundsätzlich gleichen Verlauf aufzeigen, stieg die Kurve der Kontrollparzellen stärker an, wodurch die Differenz zu den beiden beschatteten Parzellen zum Ende der Messreihe immer deutlicher wurde (Abb. 65).

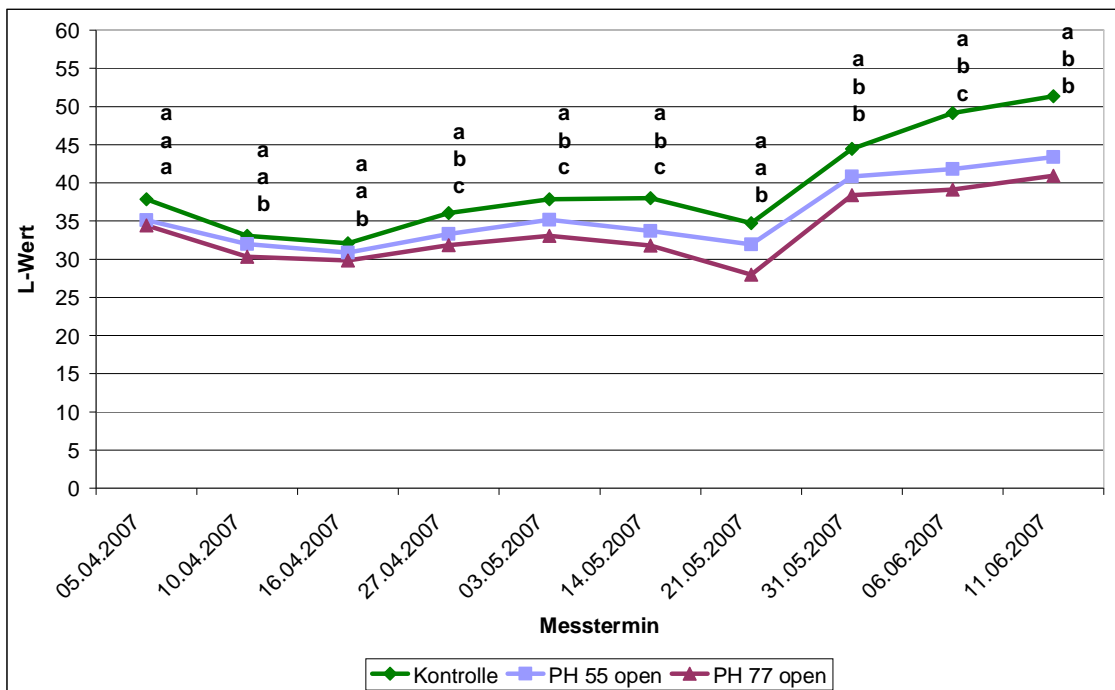


Abb. 65: L-Wert des durchschnittl. Blattes in Abhängigkeit der einfallenden Einstrahlung an zehn aufeinander folgenden Messterminen. Signifikanzen (a- c) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

4.4.2.1.4 Einfluss der veränderten Einstrahlung auf den Reservestoffhaushalt

Als einen wichtigen Einflussfaktor in Bezug auf den Reservestoffhaushalt der Pflanzen hat sich im Verlauf der Versuche die Trockenmasse der Speichergewebe, hauptsächlich der Zwiebel, herausgestellt.

Bei der Betrachtung der Zwiebeltrockenmasse zum Zeitpunkt der abgeschlossenen Seneszenz der Blätter fiel auf, dass die Zwiebeltrockenmasse der Kontrollparzellen am 05.08.2008 signifikant höher war, als die der PH 77-Variante. Die PH 88-Variante nahm eine Mittelstellung ein. Wie schon bei der Blatt-TM lagen die Zwiebeltrockenmassen des Jahres 2008 deutlich unter denen des Vorjahres, wobei am 25.07.2007 die Zwiebeln der Kontrollparzellen nur tendenziell schwerer waren als die Zwiebeln der beiden beschatteten Varianten (Abb. 66).

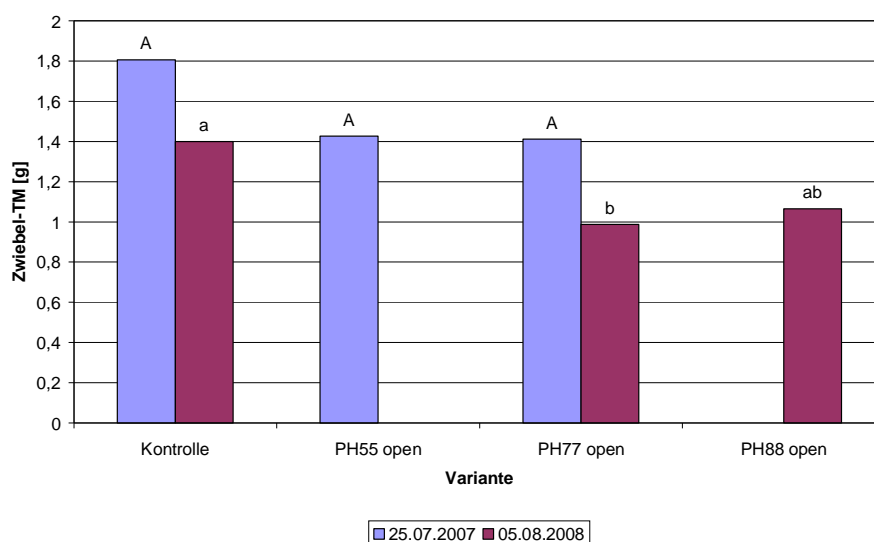


Abb. 66: TM einer durchschnittl. Zwiebel der Erntetermine 25.07.2007 und 05.08.2008 in Abhängigkeit der Einstrahlungsmenge; Signifikanzen (A und a - b) innerhalb der Messtermine nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Der für die Zwiebeln ermittelte Fructangehalt [mg/g TM] in Abbildung 67 zeigte keine signifikante Merkmalsausprägung. Die Werte lagen für alle drei Varianten bei ca. 650 mg/g Fructan in der Zwiebeltrockenmasse.

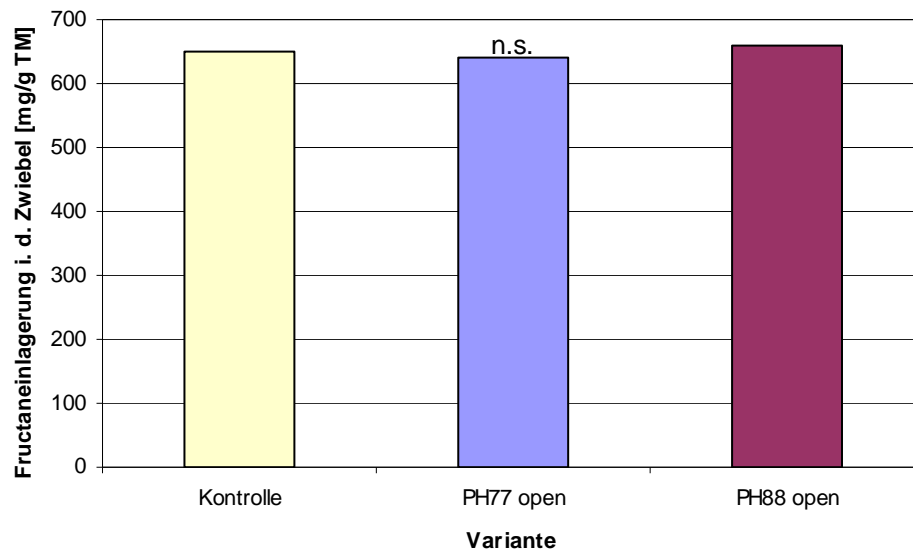


Abb. 67: Fructangehalt in der Zwiebel in Abhängigkeit der Einstrahlungsmenge zum 05.08.2008. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Bezieht man den Fructangehalt auf die tatsächlich ermittelte Zwiebeltrockenmasse in den einzelnen Varianten so ist auch hier die Menge an Fructan in einer durchschnittlichen Zwiebel bei den Pflanzen der Kontrollparzellen am höchsten, bei den Pflanzen der PH 77-Variante am geringsten, die PH 88-Variante nahm wiederum eine Zwischenstellung ein (Abb. 68).

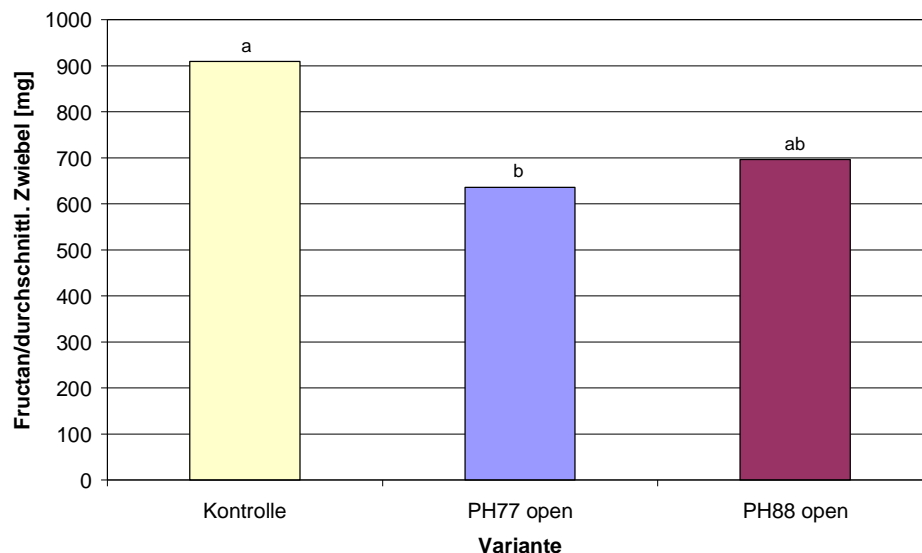


Abb. 68: Fructangehalt einer durchschnittl. Zwiebel in Abhängigkeit der Einstrahlungsmenge vom 05.08.2008. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

4.4.2.2 Standort Reken

4.4.2.2.1 Beeinflussung der Standortfaktoren durch die Vliese

Abb. 69 zeigt deutlich, dass gerade bei tieferen Temperaturen (beispielsweise am 16.02.2008 in der Kontrollparzelle unter 0 °C) die Abdeckung mit Vlies (34 g/m²) eine deutlich erhöhte Temperatur aufwies. Die aufgezeichneten Temperaturen in der Vlies-Variante (17 g/m²) lagen ungefähr auf dem Niveau der Kontrollparzelle. Je höher die Temperaturen wurden (21.02.2008 in der Kontrollparzelle ca. 6 °C) desto mehr gleichen sich die Temperaturen der verschiedenen Varianten an. Der positive Effekt der Abdeckung trat also am ehesten bei tiefen Temperaturen in Erscheinung.

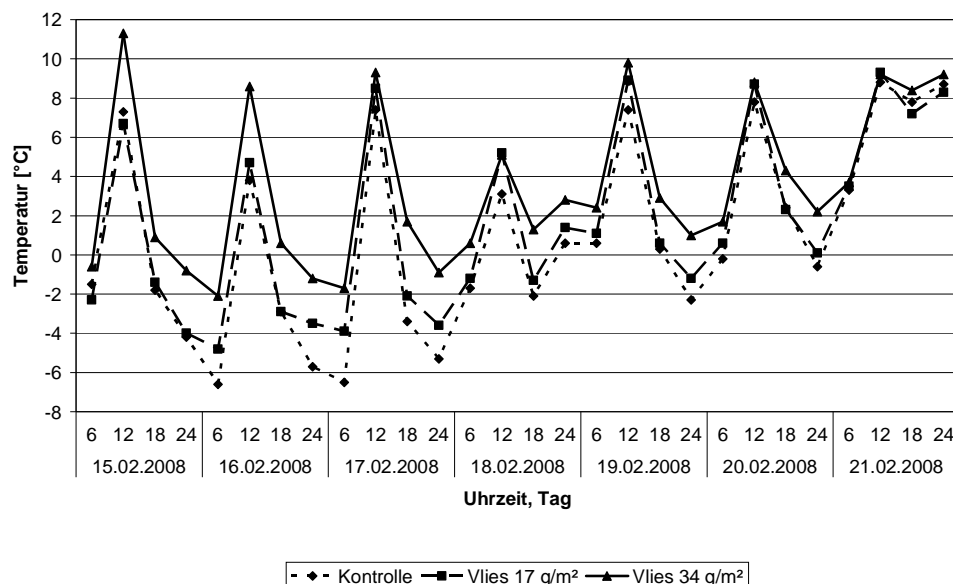


Abb. 69: Temperaturverlauf vom 15.02.2008 bis zum 21.02.2008 in den Versuchspartzen jeweils um 6, 12, 18 und 24 Uhr, Standort Reken.

Alle Abdeckungsvarianten konnten gegenüber den nicht abgedeckten Kontrollparzellen die eintreffende Einstrahlung signifikant reduzieren. Zwischen den drei Abdeckungsvarianten konnte weiterhin eine signifikante Verringerung der PAR ermittelt werden. Den stärksten Beschattungseffekt zeigte die Vlies-Folien Kombination gefolgt von der Vlies-Variante mit 34 g/m² wiederum gefolgt von der 17 g/m² Vlies-Variante (Tab. 5).

Tab. 5: Die in die 2007 angelegten Versuchspartzen eintreffende Strahlung in Prozent zur unbeschatteten Kontrollparzelle.

	Kontrolle	Vlies (17 g/m ²)	Vlies (34 g/m ²)	Vlies und Folie
PAR	100 % (a)	71,9 % (b)	57,75 % (c)	26,25 % (d)

4.4.2.2 Pflanzen- und Ertragsentwicklung in Abhängigkeit der Einstrahlung

Abbildung 70 zeigt, dass die ermittelte Gesamtmasse (FM) der Pflanzen unter den verschiedenen Abdeckungsmaterialien immer signifikant höher war, als in den Kontrollparzellen. Innerhalb der unterschiedlichen Abdeckungsvarianten war kein signifikanter Unterschied in der Gesamtfrischmasse der Pflanzen nachweisbar.

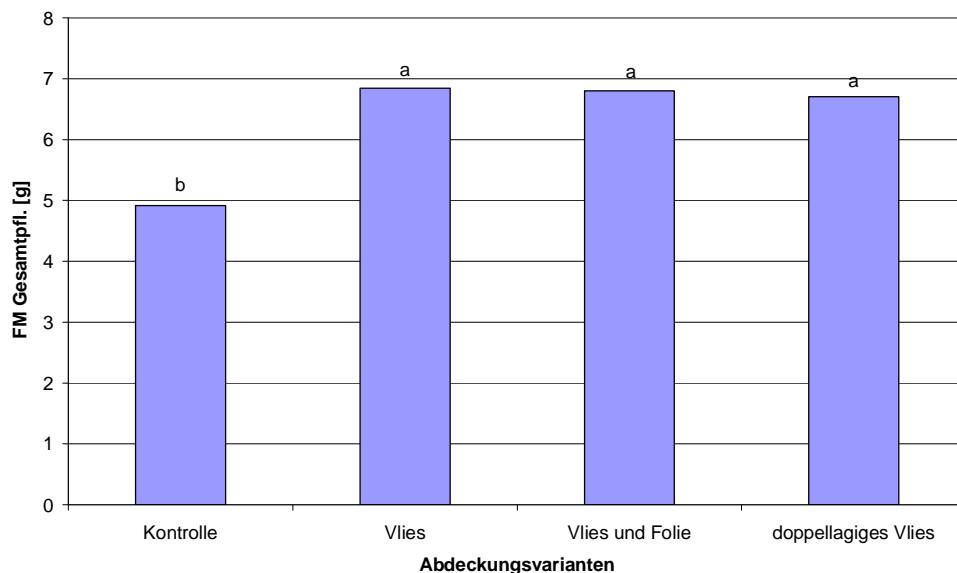


Abb. 70: FM der zweiblättrigen Gesamtpflanze am 02.04.2007 in Abhängigkeit der verschiedenen Abdeckungsmaterialien am Standort Reken. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Alle Abdeckungsvarianten führten im Jahr 2007, im Vergleich zu der nicht abgedeckten Kontrollparzelle, zu signifikant höheren Blatt-FM Werten. Untereinander unterschieden sich die drei Abdeckungsvarianten nicht voneinander (Abb. 71).

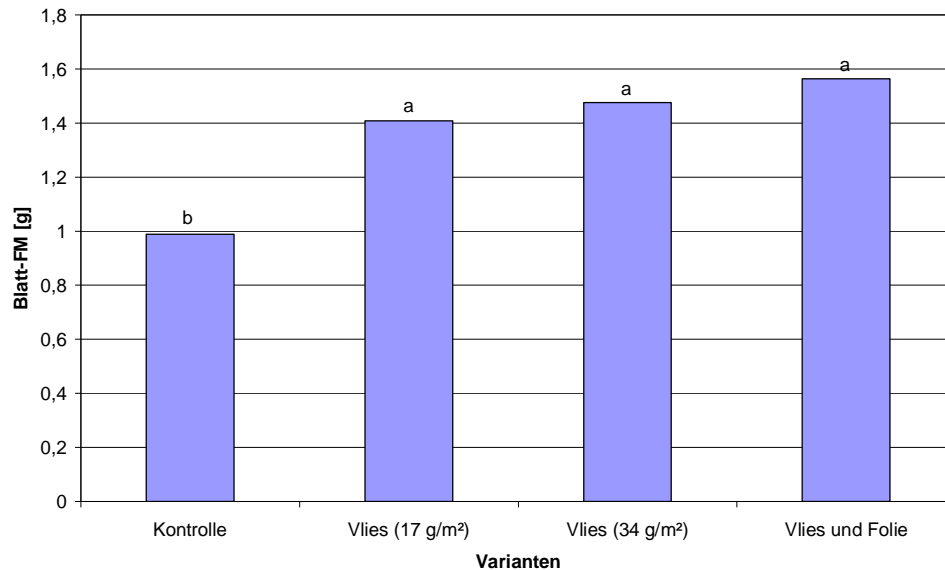


Abb. 71: Blattfrischmasse in Abhängigkeit der Abdeckungsmaterialien am Standort Reken am 02.04.2007. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

In 2008 konnten für die beiden abgedeckten Varianten signifikant höhere Blattfrischmassen nachgewiesen werden als für die unabgedeckte Kontrollparzelle. Zusätzlich war innerhalb der beiden Abdeckungen nochmals eine Steigerung der Blattfrischmasse beim schweren Vlies zu erkennen (Abb. 72).

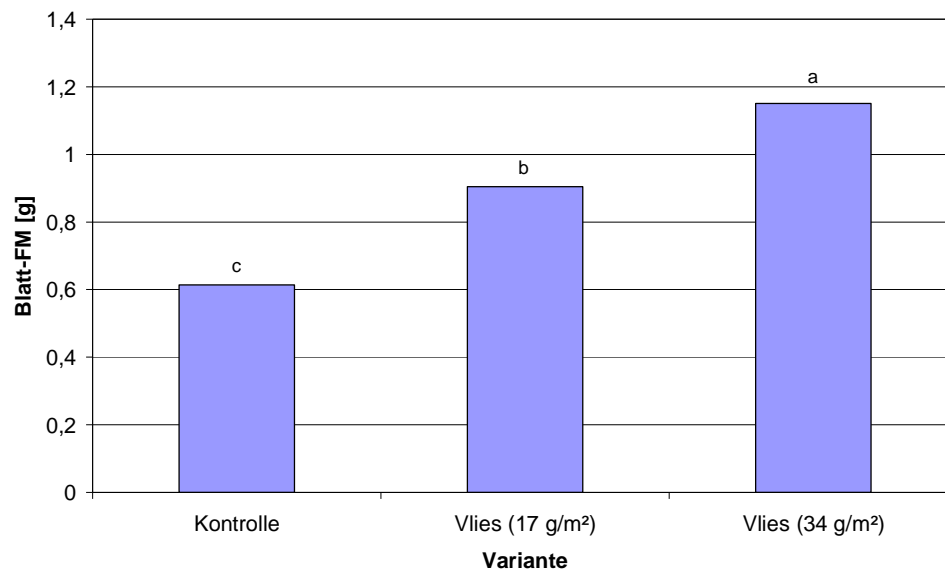


Abb. 72: Blattfrischmasse in Abhängigkeit der Abdeckungsmaterialien am Standort Reken am 15.04.2008. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Analog zu der in der vorhergehenden Abbildung gezeigten Verteilung der Blattfrischmasse zeigt auch die Blatttrockenmasse einen ähnlichen Verlauf mit steigender Blatttrockenmasse bei erhöhter Intensität der Abdeckung, wobei hier die

leichte Vliesvariante eine Mittelstellung zwischen den signifikant unterschiedlichen Kontroll- und Vlies (34 g/m²) Varianten einnahm (Abb. 73).

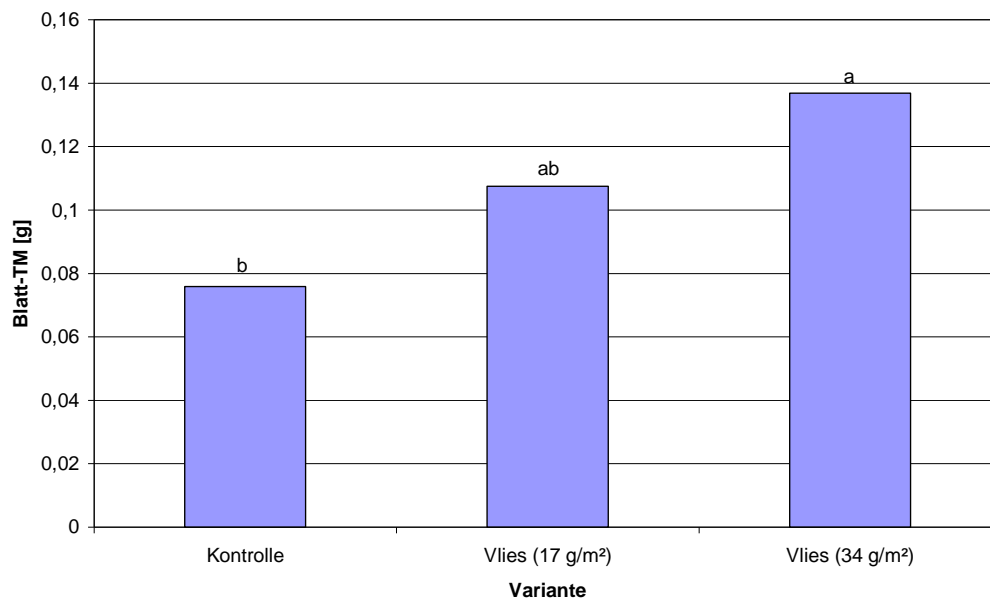


Abb. 73: Blatttrockenmasse in Abhängigkeit der Abdeckungsmaterialien am 15.04.2008 am Standort Reken. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Obwohl die Zwiebeln zum Zeitpunkt der Datenerhebung noch nicht vollständig „ausgereift“ waren, ließen sich trotzdem deutliche Aussagen treffen. Abb. 74 zeigt eindeutig, dass mit zunehmender Intensität der Abdeckung eine Steigerung der Frischmasse der Zwiebeln einherging, die zu diesem Zeitpunkt zumindest für die Variante Vlies (34 g/m²) signifikant im Vergleich zu den Pflanzen der Kontrollparzellen war.

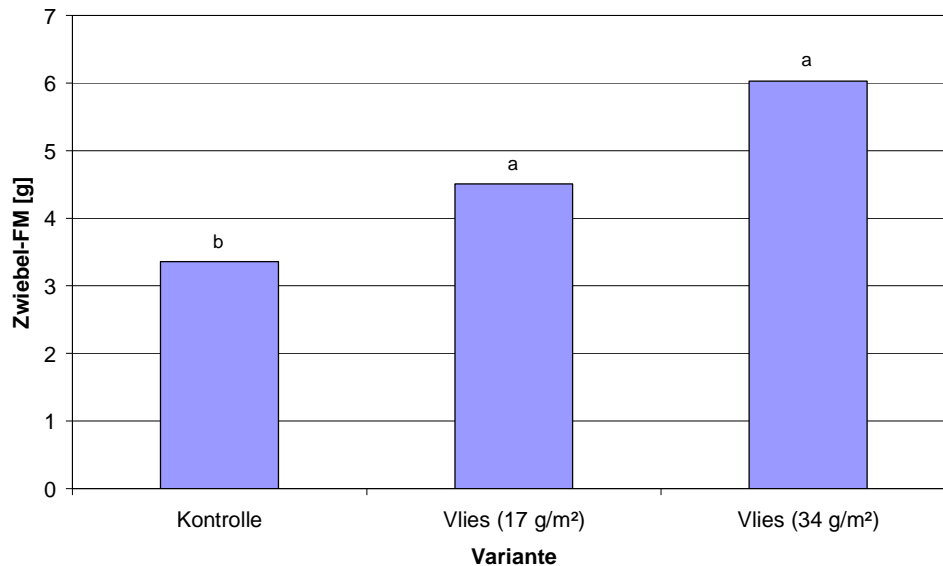


Abb. 74: Zwiebelfrischmasse in Abhängigkeit der Abdeckungsmaterialien am 15.04.2008 am Standort Reken. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abbildung 75 zeigt für die Trockenmasse der Zwiebeln ein identisches Bild. Auch hier sind die Zwiebeln der stark abgedeckten Variante signifikant schwerer als die Pflanzen der Kontrollparzellen.

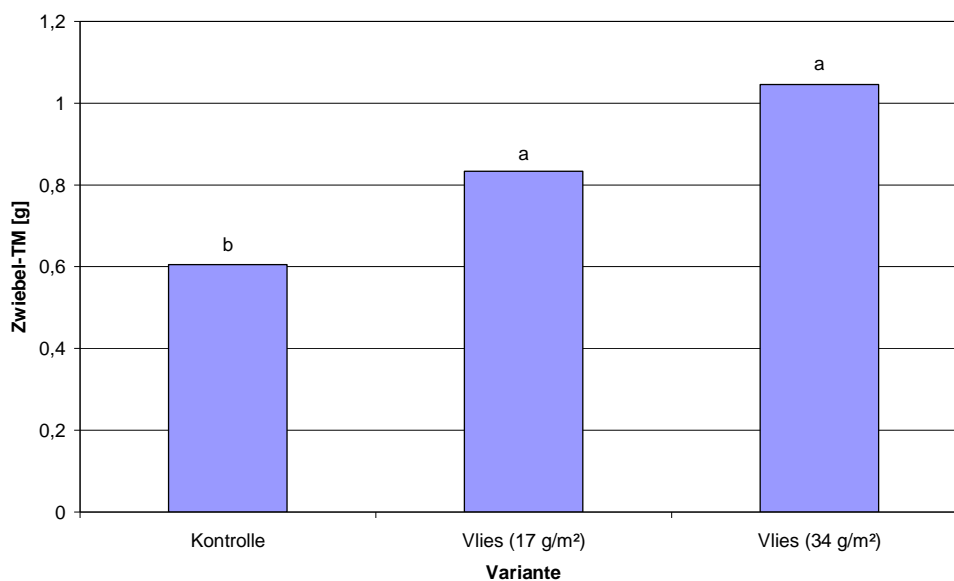


Abb. 75: Zwiebeltrockenmasse in Abhängigkeit der Abdeckungsmaterialien am 15.04.2008 am Standort Reken. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

4.4.2.2.3 Beeinflussung der optischen Qualität der Blätter

Der L-Wert zeigte in Abbildung 76 vor allem für die Variante der Vlies-Folienkombination signifikant dunklere Blätter als die der Kontrollpflanzen. Für die

Variante mit dem schweren Vlies war nur tendenzielle eine Dunkelfärbung der Blätter zu erkennen.

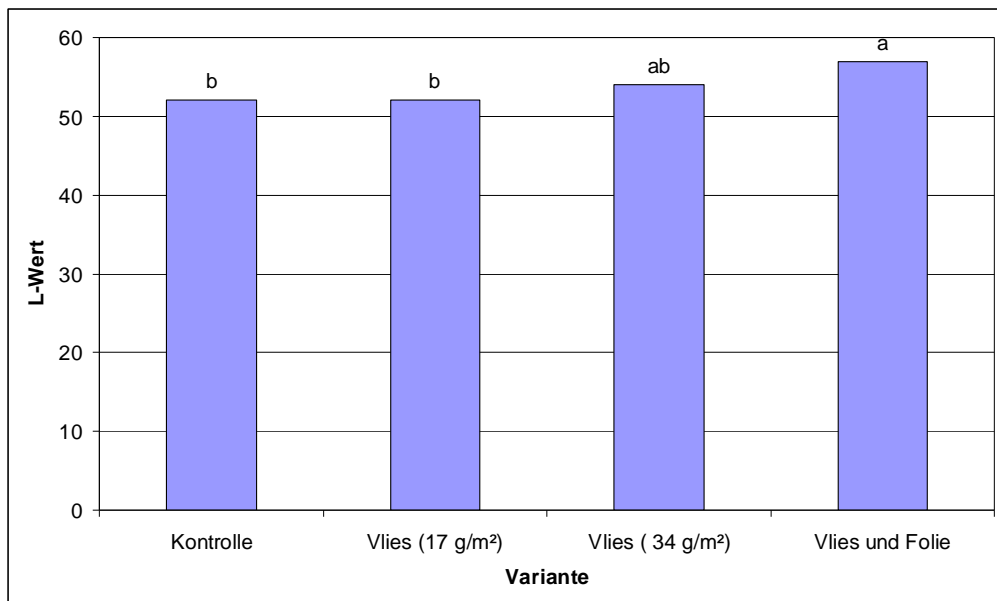


Abb. 76: L-Wert der Blätter aus den verschiedenen Abdeckungsvarianten am 02.04.2007 am Standort Reken. Signifikanzen nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Abbildung 77 zeigt in den beiden mit Vlies abgedeckten Varianten einen erhöhten SPAD-Wert, also eine stärkere Grünfärbung sowie ein damit einhergehender höherer Chlorophyllanteil der Blätter im Vergleich zu den Pflanzen der nicht abgedeckten Kontrollparzellen.

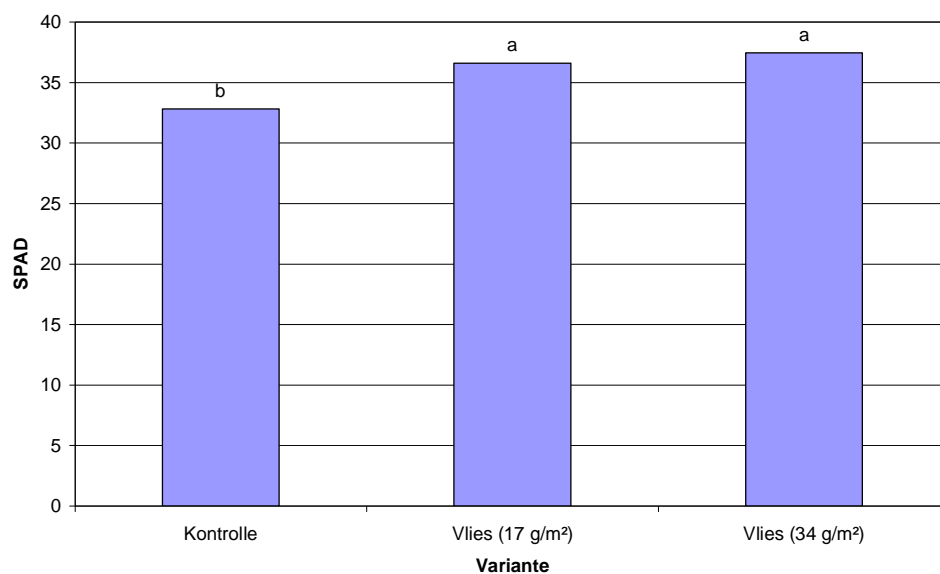


Abb.: 77: SPAD-Wert der Pflanzen in den Versuchspartzen am Standort Reken am 15.04.2008. Signifikanzen (a –b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

4.4.3 DISKUSSION

4.4.3.1 Einfluss der Regulierung der Lichtintensität auf Morphologie und Physiologie der Bärlauchpflanze am Standort Wesseling

Der Einflussfaktor Licht wurde im Zusammenhang mit Wachstum und Verbreitung von *Allium ursinum* L. bereits von mehreren Autoren diskutiert. Grundlegendes Problem all der bisher angestellten Versuche war der Versuchsstandort, welcher bei allen vorangegangenen Arbeiten ein Naturstandort war. An diesen Standorten, zumeist in laubabwerfenden Buchenmischwäldern Europas (TREMP, 1996; SCHLAGHECKEN, 2006) ist es jedoch kaum möglich, einen einzelnen Einflussfaktor isoliert zu betrachten. Vielmehr ergibt sich aus der Vielzahl definierbarer und undefinierbarer biotischer und abiotischer Einflüsse ein undurchdringbares Netz möglicher Einflussfaktoren und deren Wechselwirkungen untereinander. Aus diesem Grund kamen die Versuchsansteller, wie schon im Literaturteil dargestellt, oft zu unterschiedlichen, gar entgegengesetzten Aussagen. Zusätzlich waren oftmals die verschiedenen Versuchszeiträume ein Grund für die widersprüchlichen Aussagen. So schreibt NACHTIGALL (1985), dass die Änderung der Einstrahlung in der Krautschicht laubabwerfender Mischwälder im Jahresverlauf zum einen von der Jahreszeit selbst, aber auch von der Belaubung der sie bedeckenden Bäume abhängt. In Relation zum Außenwert ist die Einstrahlung im „zeitigen Frühjahr“ mit ca. 50 % am höchsten und sinkt in den Sommermonaten auf ca. 2 % ab. Diese Werte besagen jedoch nicht, wie hoch der absolute Wert der Lichteinstrahlung ist. Die absolute Einstrahlung in die Krautschicht ist im März aufgrund der noch nicht belaubten Bäume und der schon relativ hoch stehenden Sonne am höchsten.

In dem in dieser Arbeit vorgestellten Versuch war es im Kulturbestand möglich, einzig den Faktor Einstrahlung als relevante Einflussgröße zu beeinflussen. Faktoren wie relative Luftfeuchte, Temperatur sowie Bodenfeuchte mussten als Einflussgrößen in diesem Versuch ausgeschlossen werden. Hier konnten vor allem die in den Jahren 2007 und 2008 durchgeführten Versuche mit standardisierten Beschattungsnetzen aus dem Gewächshausbau und optimierten Versuchsaufbau wertvolle Erkenntnisse liefern. Dabei wurde bei der Wahl des Termins für den Versuchsbeginn darauf geachtet, sich der Zeit des Einsetzens der Belaubung der Waldbäume (März) anzupassen.

Im Versuchsjahr 2007, in dem die Versuchspartzen erstmals mit den Beschattungsnetzen der Firma TGU in unterschiedlicher Intensität beschattet wurden, konnte eine signifikante Steigerung der Blattfrischmasse in den beschatteten Varianten im Vergleich zur unbeschatteten Kontrollvariante festgestellt werden. Die Pflanzen der mit 55 % beschatteten Partzen bildeten im Beobachtungszeitraum im Durchschnitt 22,2 % mehr Blattfrischmasse, die Pflanzen der mit 77 % beschatteten Partzen bildeten im gleichen Zeitraum sogar 62,9 % mehr Blattfrischmasse. Ebenso waren über den Zeitraum der Messungen die schwersten Blätter (Frischmasse) mit durchschnittlich 2,8 g FM/Blatt stets in der stark beschatteten Variante zu finden. In dem darauf folgenden Versuchsjahr 2008 konnte nur noch eine tendenzielle Steigerung der Blattfrischmasse mit zunehmender Beschattungsintensität ermittelt werden, allerdings konnte als weiterer Indikator die signifikante Zunahme der Blattspaltenfläche der Blätter aus den beschatteten Versuchspartzen beobachtet werden, die nach Untersuchungen von RAHIM (1991) an Knoblauch vor allem auf Zellexpansion und nicht auf Zellneubildung zurückzuführen ist. Auch VINCE-PRUE und TUCKER (1983) stellten fest, dass gerade die Vertreter der *Monokotyledonen* oftmals die Blattfläche im Dunkeln stärker ausweiten als im Licht. Hierdurch lässt sich die zunächst erstaunliche Beobachtung erklären, dass in beiden Versuchsjahren die ermittelten Blatttrockenmassen zwar nicht signifikant, aber zumindest in den Kontrollvarianten tendenziell höher lagen als in den beschatteten Varianten. Das gleiche Phänomen konnte RAHIM (1991) auch bei den zwei in seiner Arbeit untersuchten Cultivaren des Knoblauchs feststellen. Die erhöhte Frischmasse war also hauptsächlich auf eine Erhöhung des Wassergehalts in den Vakuolen zurückzuführen und ist nicht mit einer erhöhten Zellbildungsrate zu erklären.

Die Pflanzen der Kontrollpartzen treten in der Regel mindestens zwei Wochen früher in die Seneszenzphase ein als die Pflanzen der Beschattungsvarianten, somit steht ihnen auch nur eine kürzere Zeit zur Akkumulation des Reservekohlenhydrates Fructan zur Verfügung. Den unter vollem Lichteinfluss früher auftretende Übergang der Pflanzen in die Seneszenzphase erklärt TUTIN (1957) mit der an diesen Standorten fehlenden Feuchte. Aufgrund der im Vergleich zu einem Naturstandort vollkommen ungleichen Bestandesstruktur fällt hier der Vergleich zum künstlich geschaffenen Kulturstandort schwer. Es kann jedoch festgehalten werden, dass in dem durchgeführten Versuch an der LFS Marhof keine signifikanten Unterschiede in den Merkmalen Bodenfeuchte und relative Luftfeuchte zwischen den verschiedenen

Versuchsvarianten festgestellt werden konnten. Lediglich der Faktor Licht konnte, an allen durchgeführten Messterminen durch die Beschattungsnetz signifikant verändert werden, so dass davon auszugehen ist, dass nicht der Faktor „Feuchte“, wie von TUTIN (1957) beschrieben, sondern vor allem der Faktor „Einstrahlung“ für das frühzeitige Welken der Blätter verantwortlich ist. Gestützt wird diese Aussage u.a. von LARCHER (2001), der Schattenpflanzen eine Photolabilität bescheinigt. DEMMING-ADAMS und ADAMS III, (1996) weisen in diesem Zusammenhang jedoch auch auf eine Verknüpfung verschiedenster Stressfaktoren wie z.B. Starklicht in Verbindung mit Nährstoff- oder Wassermangel hin, wie sie auch höchst wahrscheinlich an einen bärlauchreichen Naturstandort an einem typischen Sommertag vorzufinden sind.

Die Pflanzen der verschiedenen Varianten wurden nach abgeschlossener Seneszenz zeitgleich beprobt, so dass die Pflanzen der Kontrollparzellen aufgrund ihres früheren Eintritts in die Seneszenzphase eine ca. zwei Wochen kürzere Vegetationszeit als die Pflanzen der beschatteten Varianten zur Verfügung hatten. Trotz dieses zweiwöchigen Unterschieds in der Vegetationsdauer konnte kein signifikanter Unterschied in den relativen Fructangehalten der Zwiebeln der unterschiedlichen Varianten ermittelt werden. Sowohl die beiden beschatteten Varianten als auch die unbeschattete Kontrollvariante wiesen zum Zeitpunkt der Beprobung im August ca. 65 % Fructangehalt in der Gesamttrockenmasse auf und lagen mit diesem Wert im Bereich der in der Literatur angegebenen Werte (vgl. KLINKHAMMER, 2007; BAUMGARTNER et al., 2000; DARBYSHIRE und HENRY, R. J. 1978). In Bezug zur gebildeten Zwiebeltrockenmasse zeigt sich jedoch, dass – aufgrund der höheren Trockenmasse der Zwiebeln aus der Kontrollvariante – deutliche Unterschiede zwischen den absoluten Fructangehalten der Zwiebeln in den einzelnen Varianten existieren. Die Pflanzen reagieren also bei reduzierter Lichtintensität nicht mit einer verringerten Bildung von Polysacchariden, sondern bilden insgesamt Speicherorgane mit einer geringeren Trockenmasse; der relative Anteil an Polysacchariden bleibt in diesem Versuch hingegen mit ca. 65 % konstant. Eine höhere Zwiebeltrockenmasse und die damit verbundene, größere Menge an eingelagertem Fructan in der Zwiebel führte jedoch bei den Beobachtungen des Wiederaustriebs in den Kontrollparzellen des Vorjahres (2007) zu keinem erkennbaren Entwicklungsvorsprung im Gegensatz zu den Pflanzen aus den im Vorjahr beschatteten Parzellen. Dass die ermittelten Trockenmassen für Blätter und Zwiebeln im Jahr 2008 meist deutlich unter denen des Vorjahres lagen, lässt sich

durch die unterschiedlichen Habitus der Pflanzen erklären. Während für die Beprobung in 2007 genügend Pflanzen mit drei Blättern und zwei Zwiebeln zur durchgängigen, mehrfachen Beprobung zur Verfügung standen, waren bereits im darauf folgenden Jahr 2008 kaum noch dreiblättrige Pflanzen (zum einen bedingt durch die vorjährige Entnahme aus dem Versuch, zum anderen durch die rasch voranschreitende veg. Vermehrung) im Bestand. In 2008 wurden demnach ausschließlich Pflanzen beprobt, die (zumeist) mindestens sechs Blätter mit mindestens drei Zwiebeln aufwiesen. Dies führte dazu, dass die gesamten Pflanzen deutlich schwerer waren als im Jahr 2007, jedoch die einzelnen Zwiebeln und Blätter im Verhältnis etwas leichter wurden.

Die an zwei Terminen (zum optimalen Erntezeitpunkt) bestimmte Shoot/Root-Ratio zeigt für den ersten der beiden Termine eine tendenzielle, für den späteren Termin eine signifikante Zunahme von 0,6 zu 1,55 (Kontrolle zu PH 77 open) und 0,6 zu 1,4 (Kontrolle zu PH 88 open) dieses Verhältnisses, wie es von z.B. MITCHELL und ROSENDAHL (1939) auch bei Pinien-Sämlingen nachgewiesen wurde. BROUWER (1962) führt diese Ergebnisse auf die Tatsache zurück, dass bei einer Knappheit der Kohlenhydrate die Pflanzenteile, welche am dichtesten am Entstehungsort der Kohlenhydrate liegen, den größten Vorteil haben. Demgegenüber wird das Wachstum der Wurzeln, welche sich in der größten Entfernung vom Syntheseort der Kohlenhydrate befinden, am stärksten gehemmt, was durch eine erhöhte Shoot/Root-Ratio deutlich wird. Eine Erhöhung der Shoot/Root-Ratio bleibt aber nur dann erstrebenswert, wenn die Erhöhung des Verhältnisses auf einer Steigerung der oberirdischen Biomasse und nicht auf der Abnahme der Wuchsleistung unterirdischer Pflanzenorgane beruht.

Es konnte bewiesen werden, dass bei einer ertragsoptimierten Produktion der Pflanzen, eine Abdeckung durchaus sinnvoll erscheint, da sie, zumindest tendenziell (2008) sowie statistisch erwiesen (2007) höhere Blattfrischmassen bei den Pflanzen hervorbringt. Ein höherer absoluter Fructangehalt bei den Zwiebeln der unbeschatteten Parzellen ist ursächlich auf deren höhere Trockenmasse zurück zu führen, nicht jedoch auf den relativen Fructangehalt [mg/g TM], der in allen Varianten bei ca. 65 % lag. Weitergehende Untersuchungen aus den Jahren 2007 und 2008 konnten nachweisen, dass die Blätter der beschatteten Varianten eine deutlich dunklere Färbung und einen höheren Chlorophyllgehalt (SPAD) aufwiesen als die Pflanzen der Kontrollparzellen, was unter dem Aspekt der äußeren Qualität des Erntegutes und bei der weiteren Verarbeitung der Drogenrohwarenqualität beachtet

werden sollte (BOMME, 2007). Weiterhin spricht für eine Abdeckung der Pflanzen, dass sie unter den Netzen vor Wetterextremen wie z.B. Sturm, Hagel, Wind und Frost besser geschützt sind, als auf einer freien Fläche. Als Gegenargument stehen der Beschattung vor allem die Materialkosten sowie der erheblich gesteigerte Arbeitsaufwand gegenüber.

Grundsätzlich bleibt festzuhalten, dass Bärlauch, wie in der Literatur oft zu finden, keine reine Schattenpflanze ist. Vielmehr ist die Pflanze mit einer nur geringen Wuchsdepression in der Lage, auch an sonnigen Standorten zu gedeihen. Während seiner gesamten Jugendentwicklung an einem typischen Buchenmischwaldstandort ist die Pflanze, durch den noch nicht belaubten Baumüberwuchs, einer nur unwesentlich geringeren Einstrahlungsintensität ausgesetzt als eine Pflanze auf einer freien Fläche (siehe Abb. 11). Das Kronendach beginnt sich erst zu schließen, wenn der Bärlauch bereits beginnt, in die generative Phase über zu gehen. Hier wäre also vor allem eine Veränderung in der späteren Entwicklungsphase der Pflanze, etwa bei der Einlagerung der Kohlenhydrate zu erwarten; allerdings bleibt auch diese Veränderung, wie die oben beschriebenen Ergebnisse zeigen, in einem nicht statistisch absicherbaren Bereich. Im Gegenteil bildeten die Pflanzen der unbeschatteten Kontrollparzellen in beiden Jahren tendenziell mehr Trockenmasse in den unterirdischen Organen. In wie weit wertgebende Inhaltsstoffe wie z.B. Schwefelverbindungen und damit auch der Geschmack der Blätter durch die Lichtintensität beeinflusst werden, wurde in dieser Arbeit nicht untersucht. BOMME (2007) konnte in seinen Untersuchungen die höchsten Gehalte an Cysteinsulfoxiden in Pflanzen unter schwarzer Vliesabdeckung beobachten. Der geringere SPAD-Wert der Pflanzen aus den Kontrollparzellen lässt nur auf eine geringere Chlorophyllmenge im Blatt schließen, lässt aber keine Aussage über geschmack- und wertgebende Inhaltsstoffe zu. Chlorophyll selbst sorgt lediglich für eine Unterdrückung des knoblauch-typischen Geruchs bei dessen Verzehr, welcher aus einer durch das Enzym Allinase katalysierten Reaktion bei Beschädigung der Pflanzenzellen stammt (SENDL, 1995; SENDL, 1994).

4.4.3.2 Einfluss der Abdeckung der Freilandparzellen mit praxisüblichen Abdeckungsmaterialien

Vereinzelt auftretende Standortextreme wie z.B. Spätfröste, können dazu führen, dass vor allem junge bzw. schwache Pflanzen ihr Wachstum einstellen oder

absterben, wie auch schon SCHMUCKER und DRUDE (1934) beobachteten. Am natürlichen Standort sind die Pflanzen in der Vegetationsphase durch die dichte Belaubung der Bäume weitgehend vor zu viel Licht geschützt. Nach der Vegetationsphase und in der Zeit der Organdifferenzierung innerhalb der Zwiebel und des Streckens der Sprossachse im zeitigen Frühjahr außerhalb der Zwiebel sind die jungen Pflanzen zunächst noch durch einen gut isolierenden Auflagehorizont hauptsächlich aus Laub bestehend, vor starken Frösten geschützt. Wurde in den Versuchen auf der Kulturfläche der LFS Marhof mit Hilfe der Beschattungsnetze lediglich die in die Parzellen eintreffende Einstrahlungsmenge reguliert, so konnte am Standort Reken durch den Einsatz praxisüblicher Abdeckungsmaterialien zusätzlich der Faktor Temperatur beeinflusst werden.

Die Ergebnisse aus den Versuchen auf der Kulturfläche in Reken in den Jahren 2007 und 2008 zeigen eindeutig, dass nicht nur die äußere Qualität durch praxisübliche Abdeckungen verbessert werden kann (vgl. BOMME, 2007) und so z.B. flächige oder punktuelle Blattaufhellungen vermieden werden können (Abb. 78), sondern dass durch die Abdeckungsmaterialien (hier besonders das Vlies mit einer Dichte von 34 g/m²) als positiver Effekt eine Erhöhung der Erntemenge in Form der Blattfrischmasse von ca. 45 % im Bezug auf die unbeschatteten Pflanzen der Kontrollparzellen einhergeht.

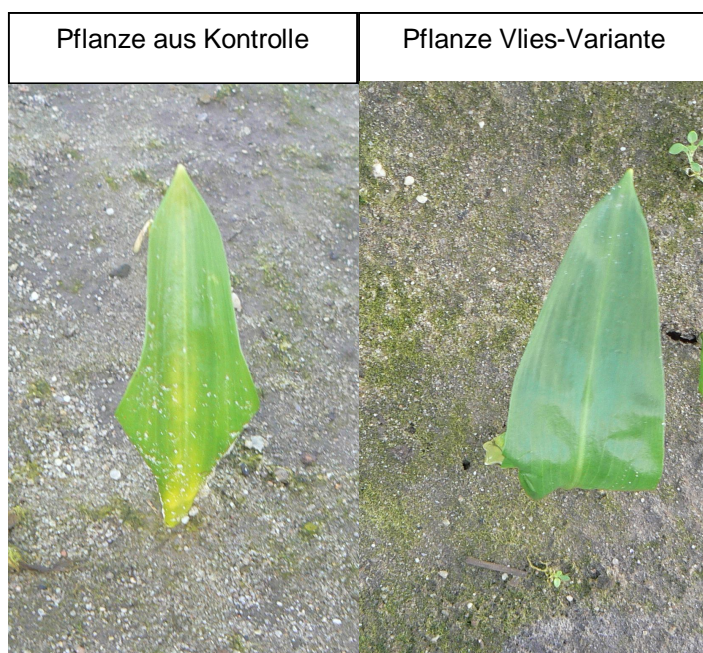


Abb. 78: Blatt aus einer Kontrollparzelle sowie aus einer mit Vlies abgedeckten Parzelle am 10.03.2007 am Standort Reken.

Durch die Abdeckung der Parzellen mit handelsüblichem Vliesmaterial wurden zwei entscheidende Wachstumsfaktoren beeinflusst. Zum einen wurde, wie in Tab. 5 dargestellt, die Einstrahlung in die mit Vlies abgedeckten Parzellen signifikant verringert, was zu einer generellen Wachstumsförderung der Gesamtpflanze und im speziellen zu einer Erhöhung der Blattfrischmasse führte (Abb. 79). Zudem konnte, vor allem bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt, ein deutlicher Temperatureffekt durch die Netze erzielt werden. Die durch die nicht invasiven Farb- (Lab) und Chlorophyllmessungen (SPAD) nachgewiesene dunklere und grünere Färbung der Blätter aus den abgedeckten Varianten führt weiterhin zu einer optischen Verbesserung der Ernteware, wie auch schon aus dem Versuch am Standort Wesseling berichtet wurde.



Abb. 79: Pflanzen am 02.04.2007 aus der Kontrollparzelle (links) und der Vlies-Variante (34 g/m²) im Vergleich.

Neben den positiven, oben beschriebenen Effekten einer zeitweiligen Abdeckung der Pflanzen, ergaben sich im praktischen Versuchsbetrieb allerdings auch einige Probleme. Neben den überschaubaren Kosten für das Vlies und die evtl. benötigten Eisenspannstangen ist hier vor allem der erhöhte Arbeitsaufwand zu nennen. Neben dem einmaligen Auf- und Abbau kann es durchaus möglich sein, dass, je nach Vorbehandlung der Fläche, Unkrautbekämpfungsmaßnahmen nötig werden. Die Abnahme der Abdeckungsmaterialien erfolgt dann am besten im Rahmen der Beerntung der Flächen in Verbindung mit einer Unkrautbekämpfungsmaßnahme und evtl. dem Aufbringen einer Mulchschicht bzw. der Einsaat einer Zwischenfrucht. Sollte eine Unkrautbekämpfungsmaßnahme schon vor der Ernte notwendig werden,

steigt der Arbeitsaufwand überproportional an, da aufgrund der Tunnelkonstruktion nur das Unkrauthacken von Hand in Frage kommt.

Festzuhalten ist, dass durch den Einsatz von Vlies und der damit verbundenen Verringerung der Einstrahlung sowie dem Schutz vor Temperaturextremen ein Mehrertrag generiert werden kann. Allerdings muss der erhöhte Material- und Arbeitsaufwand in die Gesamtkalkulation sowohl der Arbeitsbelastung als auch der Kosten-Nutzen-Rechnung einbezogen werden.

4.5 Gewächshausversuch zur Bestimmung des optimalen Beerntungsgrades

Zu den positiven Effekten einer Inkulturnahme gehören u.a. die Möglichkeit, über bestimmte Maßnahmen der Kulturführung sowie Parameter wie Qualität und Quantität des Erntegutes zu beeinflussen. Allerdings ist die Inkulturnahme von Wildpflanzen auch ein entscheidender Schritt zu deren Erhalt, da eine Über-Beerntung z.B. aus wirtschaftlichen Gründen zu einer Dezimierung bzw. Schädigung des Bestandes führen kann (KLINGSTEIN et al., 2003). Die WHO gibt in ihrer Schrift "WHO guidelines on good agricultural and collection practices (GACP) for medicinal plants" Richtlinien zur Beerntung von Wild- sowie Kulturbeständen, weiterhin finden sich dort auch Vorgaben zu weiteren Problemstellungen bei der Inkulturnahme von Wildpflanzen.

4.5.1 MATERIAL UND METHODEN

Bärlauch als Zwiebelgewächs ist eine ausdauernde, mehrjährige Pflanze. Im Verlauf der Vegetationszeit bildet sie aus den in der Zwiebel gespeicherten Reservestoffen ihre oberirdischen Vegetationsorgane. Zum Ende der Vegetation werden die in den Blättern gebildeten Primärprodukte der Photosynthese (Glucose und Fructose) umgewandelt und in die Speicherorgane umverlagert. Als Erntegut dienen die Blätter der Pflanze. Ziel der Untersuchungen war es festzustellen, wie die Pflanzen auf unterschiedlich starke Beerntungen (Abschneiden der Blätter in unterschiedlichen

Schnitthöhen) reagieren. Neben dem durch die Ernte generierten Ertrag stehen hier vorrangig Untersuchungen zur Nachhaltigkeit der verschiedenen Beerntungsgrade im Focus.

Insgesamt wurden in dieser Versuchsreihe drei voneinander unabhängige Versuche durchgeführt, welche neben dem oben schon erwähnten Faktor „Beerntungsgrad“ auch auf den Faktor „Erntezeitpunkt“ genauer eingehen.

4.5.1.1 Versuchsaufbau im Gewächshaus

In 2007 wurde der erste der drei Versuche zur Bestimmung des optimalen Beerntungsgrades der Bärlauchpflanzen gestartet. Dazu wurden insgesamt 500 Pflanzen zu jeweils 50 Stück in zehn, 0,24 m² große Container in aufgedüngtes Torfsubstrat gepflanzt. Alle Pflanzen in diesem Versuch befanden sich noch in ihrem Juvenilstadium, hatten daher nur ein Laubblatt ausgebildet und stammen aus der Lieferung der Firma Rieger Hoffmann aus dem Jahr 2006. Bis zum Beginn des Versuches im Frühjahr 2007 wurden die Zwiebeln in Torfsubstrat im Gewächshaus „gelagert“. Innerhalb der Container wurden fünf Reihen á zehn Pflanzen gesetzt. Die Pflanzen wurden im Gewächshaus aufgestellt. Kulturmaßnahmen, außer dem Bewässern der Pflanzen nach Bedarf, fanden nicht statt. Die Solltemperaturen im Gewächshaus betrugen 24 °C Tages- und 18 °C Nachttemperatur.

Die Beerntung der Pflanzen erfolgte von Hand mit einer Schere. Die Pflanzen wurden in vier unterschiedlichen Intensitäten von der Blattspitze aus beerntet:

1. „eindrittel“
2. „einhalb“
3. „dreiviertel“
4. „einganzes“
5. Kontrolle (unbeerntet)



Abb. 80: Fünf unterschiedlich beerntete Varianten in einem Container (= Wdh.).

Am 18.04.2007 wurden alle zehn Container in oben beschriebener Art beerntet (Abb. 80). Die zehn Container wurden in zwei Gruppen zu je fünf Containern geteilt; nach abgeschlossener Seneszenz der Pflanzen wurde eine Gruppe zur Bestimmung der FM und TM der Zwiebeln und Wurzeln und zur Bestimmung der löslichen Zucker und der Fructane beprobt (31.07.2008), die andere Gruppe wurde im Gewächshaus belassen, um an ihr den nächstjährigen Wiederaustrieb in Abhängigkeit zum im Vorjahr vorgenommenen Beerntungsgrades zu bonitieren.

In 2008 wurde nochmals ein Versuch mit Pflanzen der ersten Lieferung der Firma Rieger Hoffmann durchgeführt. Der Focus lag in diesem Versuch auf der optimalen Terminierung des Erntezeitpunktes. Die Pflanzen wurden analog zu dem Versuch aus 2007 gepflanzt. Die sechs bepflanzten Container wurden in zweimal drei Wiederholungen aufgeteilt (Abb. 81).



Abb. 81: Versuchsaufbau „Ernteversuch T2/T3“ zur Untersuchung des Einflusses der Erntetechnik auf die Pflanze und deren Entwicklung zu einem frühen (T2 = 18.03.2008) und zu einem späteren Erntetermin (T3 = 02.04.2008).

Die ersten drei Container wurden am 18.03.2008 wie zuvor bereits beschrieben, beerntet. Vierzehn Tage später (02.04.2008) wurde die zweite Beerntung der restlichen drei Container vorgenommen. Die beernteten Pflanzen wurden bis zu ihrer vollständigen Seneszenz in den Containern belassen, erst dann wurden sie, wiederum in zweiwöchigem Abstand (29.07.2008 bzw. 12.08.2008) aus den Containern entnommen und der weiteren Auswertung zugeführt.

4.5.1.2 Bestimmung des Ernteertrages und des Wiederaustriebsverhaltens in Abhängigkeit des Beerntungsgrades

Wie schon in Kapitel 4.5.1 beschrieben, wurden die Blätter in vorher definierten Schnitthöhen beerntet. Dabei richteten sich die Schnitthöhen nicht nach der tatsächlichen Blattlänge, sondern wurden prozentual von deren Gesamtlänge berechnet, um bei den im Bestand heterogenen Blattgrößen jeder Pflanze anteilig dieselbe Assimilationsfläche zu entfernen (Abb. 82).

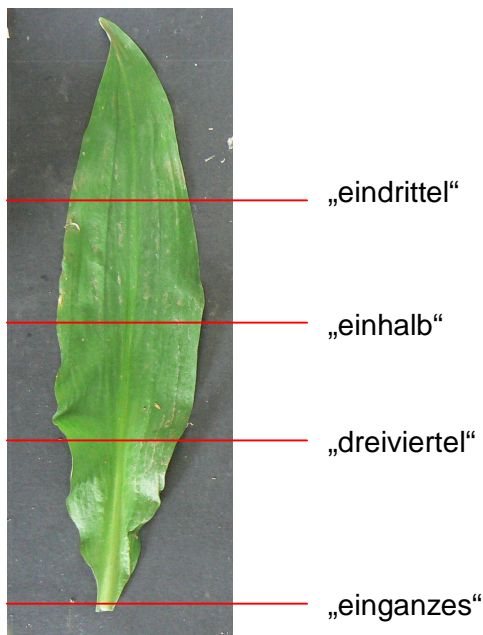


Abb. 82: Darstellung der Beerntungsgrade im Versuch.

Zur Bestimmung der Erntemenge wurden die geernteten Blätter jeder Variante und Wiederholung direkt nach der Ernte in eine Kühlbox verbracht und zeitnah im Labor auf einer Waage der Firma Mettler Toledo auf ein hundertstel Gramm verwogen. Aufgrund dessen, dass die Blätter bei der Ernte sowohl äußerlich trocken, als auch, bedingt durch deren Aufenthalt in Containern im Gewächshaus, frei von jeglichen Verschmutzungen und Belägen waren, war eine weitere Behandlung der Blätter im Vorfeld nicht notwendig. Aus den zehn Einzelwiegungen pro Variante und Wiederholung wurde der Mittelwert gebildet.

Zur Bestimmung der Frischmasse der Wurzeln und Zwiebeln wurden die Pflanzen mit äußerster Vorsicht aus den Containern entnommen und bereits bei der Entnahme grob von anhaftender Erde befreit. Durch die Kultivierung der Pflanzen in 0-Erde, einem Substrat, welches zu großen Teilen aus Torf besteht, konnte bereits im Gewächshaus der Großteil der noch anhaftenden Erde durch einfaches Abschütteln beseitigt werden. Die Pflanzen wurden in Kühlboxen gelagert und ebenfalls nach maximal zwanzig Minuten ins Labor gegeben. Zur Bestimmung der Frisch- und Trockenmassen der einzelnen Pflanzenorgane wurden die Pflanzen nach wie in Kapitel 3 beschrieben behandelt. Nach der Bestimmung der Frischmasse wurden alle Wurzeln bzw. Zwiebeln einer Variante und Wiederholung in PE-Beutel luftdicht verpackt und bei minus zweiunddreißig Grad Celsius bis zur anschließenden Gefriertrocknung im Gefrierschrank aufbewahrt.

Um die Reaktion der Pflanze auf eine differenzierte Beerntung festzustellen, wurden (neben der Probennahme der Zwiebeln und Wurzeln im Jahr der Blatternte) Pflanzen in den Containern belassen, an denen im darauf folgenden Jahr der Wiederaustrieb in Abhängigkeit des Beerntungsgrades bonitiert wurde.

4.5.2 ERGEBNISSE

4.5.2.1 Ernteerträge in Abhängigkeit des Beerntungsgrades

In Abhängigkeit der vier unterschiedlichen Beerntungsgrade (exkl. der Kontrollvariante) in den Versuchen stiegen die Erntemengen mit steigendem Beerntungsgrad an.

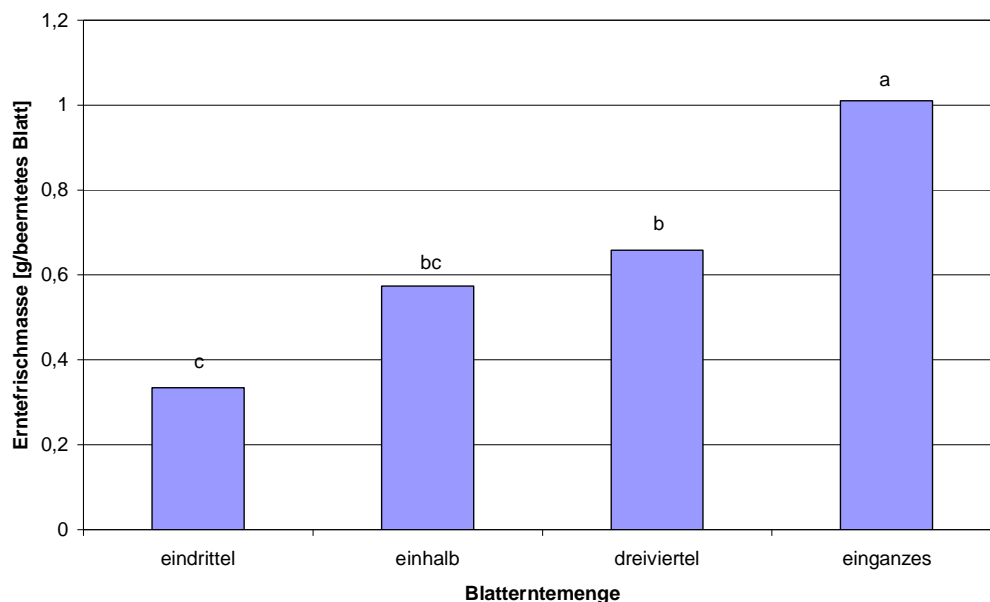


Abb. 83: Erntefrischmasse in Abhängigkeit der Blatterntemenge am 18.04.2007. Signifikanzen (a – c) nach Bonferroni ($p \leq 0,05$).

Die signifikant höchste Erntemenge wurde durch die Beerntung des gesamten Blattes erreicht. Die Beerntung „dreiviertel“ und „einhalb“ unterschieden sich nicht voneinander, ebenso wenig wie die Varianten „eindrittel“ und „einhalb“ (Abb. 83).

4.5.2.2 Einlagerung der Reservestoffe in die Zwiebeln

Mit steigender Blatterntemenge sankt die Zwiebelfrischmasse der beernteten Pflanzen.

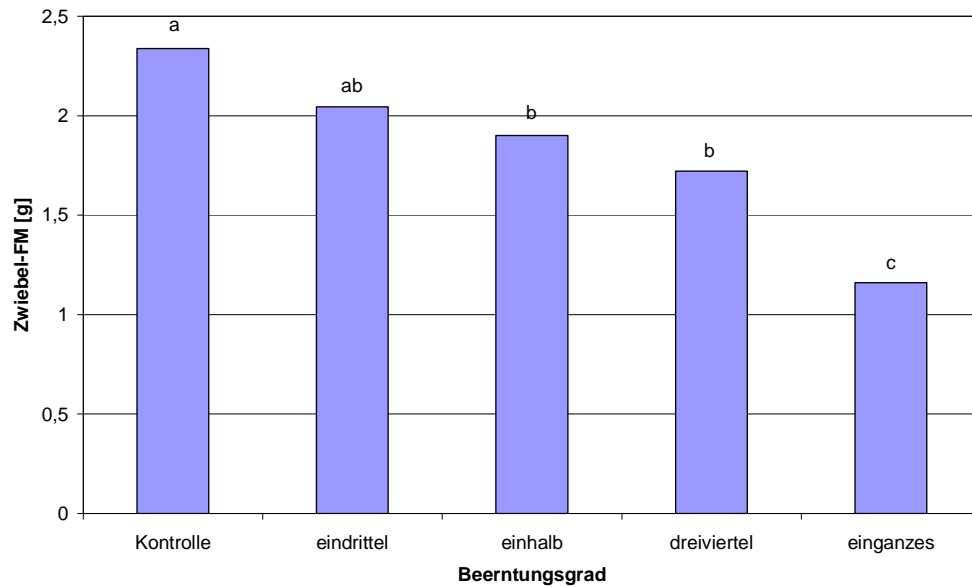


Abb. 84: Zwiebelfrischmasse nach abgeschlossener Seneszenz der Pflanzen am 12.08.2008 in Abhängigkeit des Beerntungsgrades der Blätter. Signifikanzen (a – c) zwischen den Beerntungsgraden nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Im Vergleich zur Kontrollvariante waren die Zwiebelfrischmassen der Varianten „einhalb“, „dreiviertel“ und „einganzes“ signifikant geringer, die Variante „eindrittel“ zeigte lediglich zu der Variante „einganzes“ eine signifikant höhere Zwiebelfrischmasse (Abb. 84).

Beim Vergleich der Zwiebeltrockenmasse in Abbildung 85 des frühen und späten Erntetermins zeigt sich ein Bild analog zu dem der Zwiebelfrischmasse in vorhergehender Abbildung. Sowohl zum frühen als auch zum späteren Erntetermin zeigt sich eine deutliche Abnahme der Zwiebeltrockenmasse bei einem gesteigerten Blatt-Beerntungsgrad. Während bei dem frühen Erntetermin die Varianten „dreiviertel“ und „einganzes“ im Vergleich zur Kontrolle signifikant geringere Zwiebeltrockenmassen vorwiesen, konnte diese Beobachtung im späten Erntetermin nur für die Variante „einganzes“ bestätigt werden.

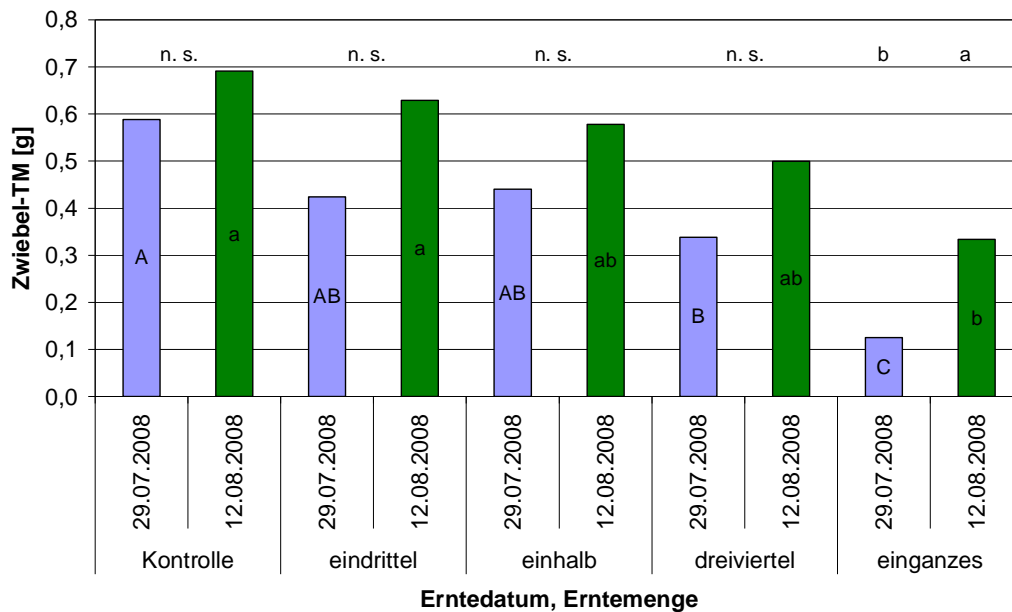


Abb. 85: Zwiebeltrockenmasse der verschiedenen, vorausgegangenen Beerntungsgraden zum frühen (Blatternte am 18.03.2008; Zwiebelernte am 29.07.2008) und späten (Blatternte am 02.04.2008; Zwiebelernte am 12.08.2008) Termin. Signifikanzen (a – b; A – C) jeweils innerhalb der Erntetermine sowie (n.s.; a – b) innerhalb der Varianten zwischen den Terminen nach Bonferroni ($p \leq 0,05$).

Die Fructangehalte in den Zwiebeln lagen bei der frühen Beerntung auf einem Niveau von ca. 70 % der TM. Lediglich die Variante „einganzes“ lag mit ca. 60 % Fructangehalt signifikant unter dem Fructangehalt der restlichen Varianten. Bei der späteren Ernte konnten keine Signifikanzen zwischen den einzelnen Beerntungsgraden festgestellt werden. Das im Vergleich zur frühen Ernte durchweg geringere Fructanniveau in den Zwiebeln ist auf erste, in der Zwiebel ablaufende und Fructan spaltende Differenzierungsvorgänge zurückzuführen (Abb. 86).

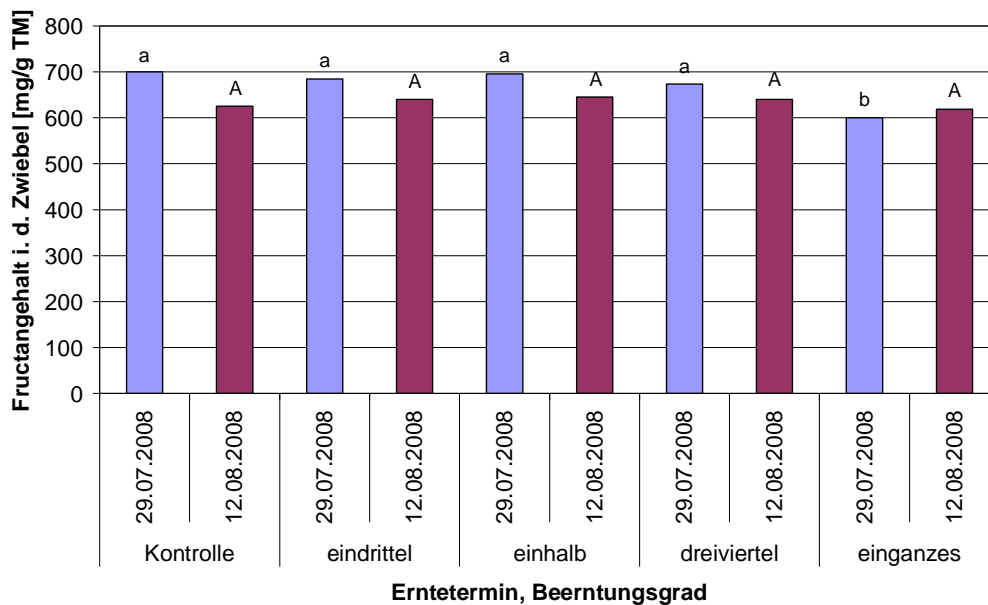


Abb. 86: Fructangehalt i. d. Zwiebel in Abhängigkeit der verschiedenen, vorausgegangenen Blatt-Beerungsgrade zum frühen Erntetermin (Blatternte am 18.03.2008; Zwiebelernte am 29.07.2008) und späten (Blatternte am 02.04.2008; Zwiebelernte am 12.08.2008) Termin. Signifikanzen (a – b; A) jeweils innerhalb der Erntetermine nach Bonferroni ($p \leq 0,05$). Signifikanzen (n. s.) zwischen den Erntedaten innerhalb der Varianten nach Bonferroni ($p \leq 0,05$) nicht in der Abbildung eingetragen.

Bezieht man den in oben stehender Abbildung 86 ermittelten Fructangehalt [mg/g TM] auf die tatsächliche Trockenmasse der durchschnittlichen Zwiebel der Beerungsvarianten, zeigt sich ein deutlicheres Bild (Abb. 87). An beiden Ernteterminen konnte eine zumindest tendenzielle Abnahme der Fructanmenge pro durchschnittlicher Zwiebel beobachten werden. Sowohl für den frühen als auch für den späten Erntetermin war eine deutliche Abnahme des Fructangehalts pro durchschnittlicher Zwiebel zu erkennen. Während bei der frühen Beerntung sowohl die Variante „dreiviertel“ als auch die Variante „einganzes“ signifikant geringere Fructanmengen pro durchschnittlicher Zwiebel aufwiesen, konnte eine signifikant geringere Fructanmenge bei der späteren Beerntung lediglich bei der Variante „einganzes“ nachgewiesen werden.

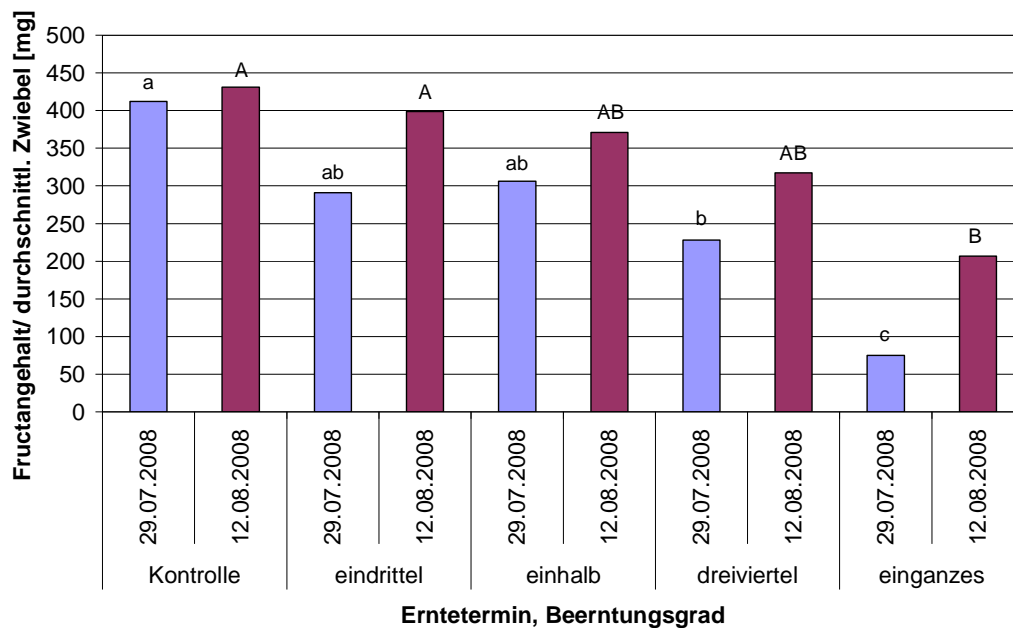


Abb. 87: Fructangehalt i. d. durchschnittl. Zwiebel der verschiedenen, vorausgegangenen Blatt-Beerntungsgrade zum frühen (Blatternte am 18.03.2008; Zwiebelernte am 29.07.2008) und späten (Blatternte am 02.04.2008; Zwiebelernte am 12.08.2008) Termin. Signifikanzen (a – c; A – B) jeweils innerhalb der Erntetermine nach Bonferroni; ($p \leq 0,05$).

Die im Vorjahr bereits in den schon beschriebenen Beerntungsgraden beernteten Pflanzen wurden im Folgejahr (ohne erneute Beerntung) noch einmal auf deren Fructaneinlagerungen in der Zwiebel untersucht, um so Aussagen über eine vielleicht langfristige Schwächung der Pflanze machen zu können. Die Untersuchungen konnten in Hinblick auf den Fructangehalt der Zwiebeln keine signifikanten Merkmalsausprägungen herausstellen (Abb. 88).

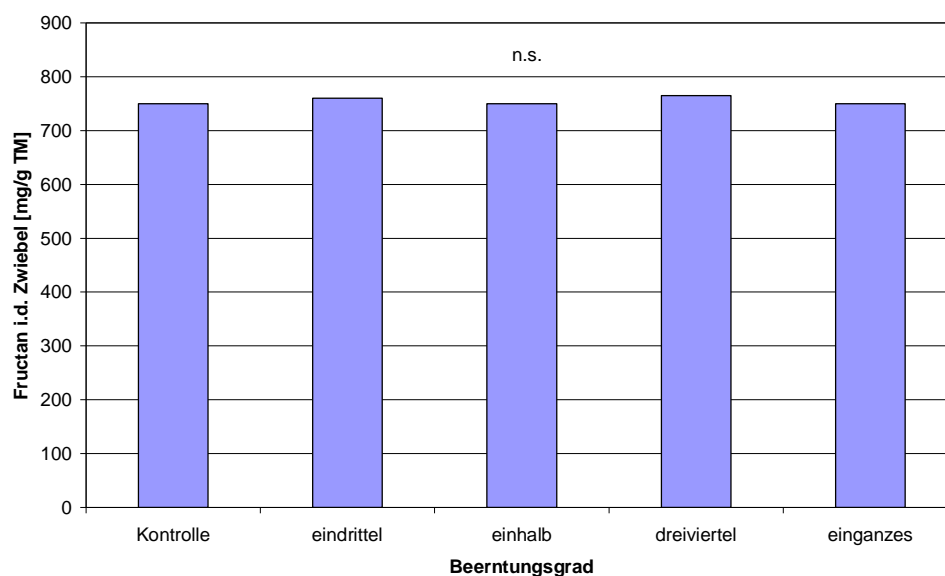


Abb. 88: Fructangehalt der Zwiebeln aus der Beprobung von 2008 nach abgeschlossener Seneszenz der Pflanzen in Abhängigkeit der Beerntungsgrade der Blätter des Vorjahres. Signifikanzen (n. s.) nach Bonferroni ($p \leq 0,05$).

Wie schon vorausgegangene Abbildungen gezeigt haben, konnten teilweise signifikante Unterschiede in den verschiedenen geprüften Faktoren zwischen den einzelnen Beerntungsgraden in den Jahren 2007 sowie 2008 nachgewiesen werden. In Abbildung 89 wurden die Zwiebeltrockenmassen der einzelnen Varianten innerhalb der Beerntungsgrade zwischen den Jahren 2007 und 2008 geprüft. Zunächst fiel auf, dass die Trockenmassen aller Varianten von 2007 zu 2008 zunahmen; bei den Varianten „dreiviertel“ und „einganzes“, den beiden Varianten mit der größten Erntemenge, waren die Unterschiede in den Jahren signifikant, sodass hier die Trockenmassezunahme nicht nur auf die normale Massenzunahme im Lebenszyklus der Pflanze, sondern auch auf deren vorausgegangenen Beerntungsgrad zurückzuführen waren. Des Weiteren wurden innerhalb jedes Jahres die Zwiebeltrockenmassen in den einzelnen Beerntungsvarianten verglichen. Grundsätzlich war in beiden Jahren eine ähnliche Tendenz zu erkennen. In beiden Fällen unterschieden sich die Varianten „Kontrolle“ sowie „einganzes“ signifikant voneinander, alle anderen Varianten waren zu der Kontrollvariante nicht unterschiedlich, lediglich in 2008 brachte die Variante „eindrittel“ signifikant geringere Zwiebeltrockenmassen hervor als die Kontrolle.

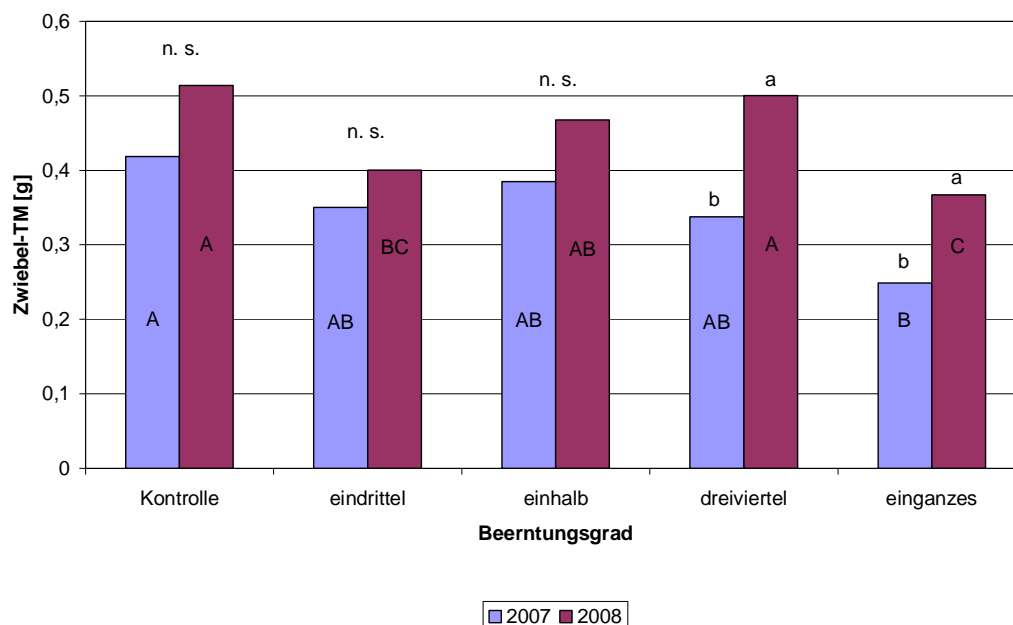


Abb. 89: Zwiebeltrockenmasse nach der Beerntung und anschließender, abgeschlossener Seneszenz der Pflanzen in 2007 im Vergleich zur Zwiebeltrockenmasse der ebenfalls in 2007 beernteten, aber in 2008 nicht beernteten und nach der Seneszenz beprobten Zwiebeln. Signifikanzen (n. s. und a – b) innerhalb der Erntemenge für den Vergleich der Jahre innerhalb der Varianten (A – B für 2007) und (A – C für 2008) innerhalb der Jahre zwischen den einzelnen Varianten nach Bonferroni ($p \leq 0,05$).

4.5.2.3 Wiederaustriebsverhalten im Nacherntejahr

Bei der Betrachtung des Wachstums der in 2007 beernteten Pflanzen war zu erkennen, dass der Grad der Beerntung keinen Einfluss auf die im Folgejahr gebildete Blattfläche aufwies. Die Kontrollpflanzen bildeten signifikant größere Blätter als die Pflanzen der Variante „einganzes“ und der Variante „eindrittel“. Selbst eine Beerntung bis zu „dreiviertel“ der Blattfläche führte im Folgejahr nicht zu einer signifikant verringerten, neu gebildeten Blattfläche (Abb. 90).

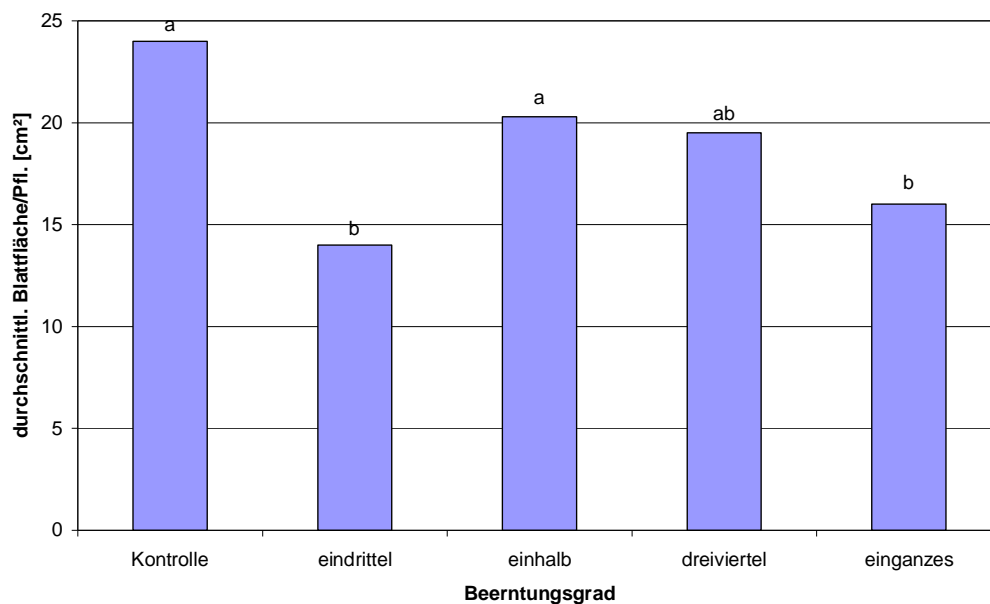


Abb. 90: Neu gebildete Blattfläche (als Produkt aus Blattlänge und Blattbreite) aller Blätter der einzelnen Versuchspflanzen am 27.03.2008 der bereits im Vorjahr in unterschiedlichen Schnitthöhen beernteten Pflanzen. Signifikanzen (a – b) nach Tukey ($p \leq 0,05$).

Für alle Varianten war, unabhängig von dem Grad der Beerntung, eine deutliche Steigerung der Anzahl der mehrblättrigen Pflanzen im Jahr nach der ersten Ernte (2007) zu verzeichnen. Zwischen den einzelnen Varianten bestanden hinsichtlich der Zunahme der mehrblättrigen Pflanzen keine Unterschiede (Abb. 91).

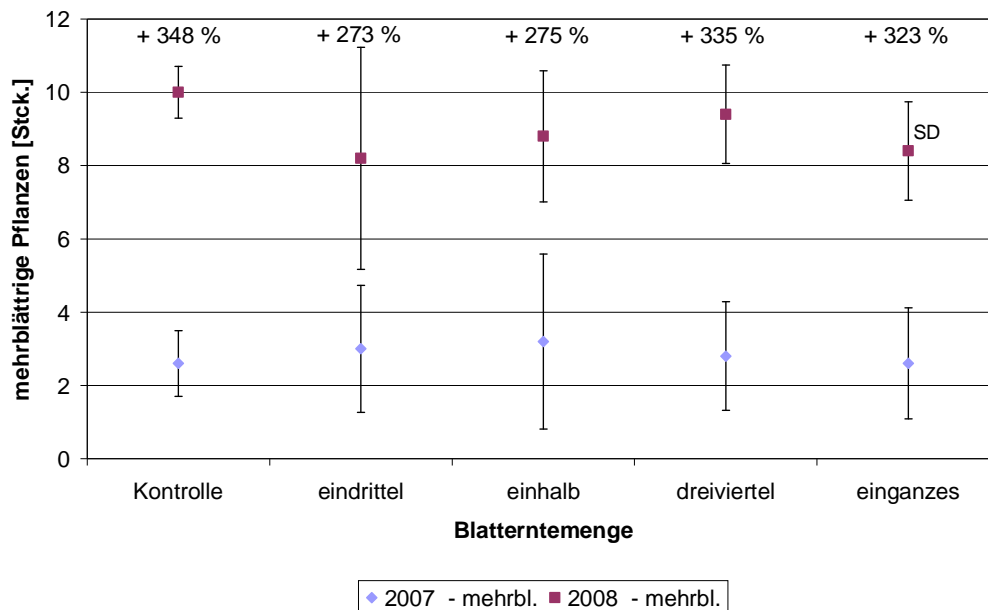


Abb. 91: Zunahme der Anzahl der mehrblättrigen Pflanzen vom Zeitpunkt der Ernte in 2007 bis zum Wiederaustrieb der Pflanzen (nach der Beerntung) in 2008 in Abhängigkeit der verschiedenen Grade der Blatternte. SD = Standardabweichung.

4.5.3 DISKUSSION

Der Großteil der Bärlauch verarbeitenden bzw. vertreibenden Betriebe wirbt mit dem Qualitätsmerkmal „aus Wildsammlung“. Dabei ist es in vielerlei Hinsicht mehr als fraglich, in wieweit dieses „Qualitätsmerkmal“ positiv zu bewerten ist.

Neben verschiedensten Kontaminationen des Ernteguts mit z.B. Eiern des kleinen Fuchsbandwurms (*Echinococcus multilocularis*) und möglichen Beimengungen giftiger und oft mit Bärlauch vergesellschafteter Pflanzen wie u. a. dem Maiglöckchen (*Convallaria majalis*), dem Aronstab (*Arum maculatum*) oder der Herbstzeitlosen (*Colchicum autumnale*) ist es für den Abnehmer äußerst schwierig, die Herkunft der Ware genau zu bestimmen (BUNDESAMT FÜR RISIKOBEWERTUNG, 2005). In der BRD ist für die gewerbliche Sammlung von Bärlauch aus Waldstandorten eine Genehmigung der zuständigen Behörde erforderlich, welche in der Regel jedoch ohne Probleme erteilt wird. In den osteuropäischen Ländern, dem Hauptherkunftsort des aus Wildsammlungen stammenden Bärlauchs, sind die Regelungen zumeist unklar, sodass weder Qualität der beernteten Ware noch die Art und Weise der Beerntung am Standort einer strikten Regelung und Kontrolle unterliegen. MICHLER (2003) bestimmt für Rumänien, wie bereits weiter oben erwähnt, ein Sammelaufkommen von ca. 9 t/a getrockneter Bärlauchblätter aus Wildsammlungen, konnte jedoch leider auch keine Angaben zu den Überwachungsmodalitäten in

Bezug auf Qualität und Nachhaltigkeit machen. Werden Sammelgebiete in mehreren Jahren hintereinander rigoros beerntet, so ist eine deutliche Schwächung des Bestandes zu beobachten.

Aufgrund der vielen Vorteile, die Quantität und Qualität des Produktes sowie dessen nachhaltige Erzeugung und somit den Naturschutz betreffend macht es Sinn, Bärlauch in Kultur zu nehmen.

Angesichts des relativ hohen Preises für das Pflanzgut und den hohen Handarbeitsaufwand handelt es sich bei Bärlauch um eine teure, gleichzeitig aber auch wertvolle „Kultur“, so dass es nur konsequent ist, alle Maßnahmen zu ergreifen, die neben einem hohen Ertrag einerseits, die nachhaltige, mehrjährige Nutzung auf hohem Ertrags- und Qualitätsniveau andererseits, ermöglichen.

Hierzu ist neben der gezielten Kulturführung, wie bereits erörtert, eine kontrollierte Beerntung der Bestände unabdingbar.

Nach Untersuchungen von SCHMITT et al. (2005) sowie HÄNSEL und HÖLZL (1996) ist der optimale Erntetermin hinsichtlich des Gehalts an wertgebenden Inhaltsstoffen kurz vor dem Zeitpunkt der Blüte der Pflanzen zu terminieren. Aufgrund der Vielzahl biotischer und abiotischer Einflussfaktoren am Naturstandort handelt es sich vielmehr um einen Zeitraum, als um einen Zeitpunkt, der den optimalen Erntetermin beschreibt. SCHLAGHECKEN (2006) gibt den Zeitraum für eine mögliche Beerntung schon beim Austreiben der Blätter an. In Hinblick auf eine kommerzielle Nutzung ist es aber geboten, die Blätter erst nach deren voller Entfaltung vor der Blüte zu beernten. Weiterhin schlägt er zur Schonung der Bestände vor, lediglich ein Blatt pro Pflanze zu entfernen. Weitergehende Untersuchungen von TREMP (1996) führten zu der Aussage, dass das Entfernen des einzigen Blattes einer einblättrigen Pflanze zu deren Absterben führt.

Diese Aussage konnte in den hier vorliegenden Untersuchungen widerlegt werden. Wird das Blatt zum optimalen Erntezeitpunkt beerntet, ist die Zwiebel bereits angelegt (terminiert) und kann in der nachfolgenden Vegetationsperiode wieder austreiben. Eine mögliche Erklärung für die Aussage von TREMP (1996) ist evtl. ein sehr früher Erntezeitpunkt des Blattes, zu dem die Pflanze noch keinerlei Reservestoffe in die sich bildende Zwiebeln eingelagert hatte.

Berücksichtigt man die Aussagen von JANDL et al. (1997), welcher eine Allokation der Nährstoffe aus dem Blatt in die Speicherorgane während der Seneszenz von maximal 1/3 ausmachen konnte, so ist der, durch die Beerntung der Blätter generierte Nährstoffverlust in dieser Entwicklungsphase für die Pflanzen nicht von

gravierender Bedeutung. In den in dieser Reihe angestellten Versuchen konnte ebenfalls nachgewiesen werden, dass, unter Gewächshausbedingungen, der Zeitpunkt des Einsetzens und der Verkauf der Seneszenz der Blätter generell nicht durch eine Beerntung beeinflusst wurde. Zusätzlich konnten an den Schnittstellen nach der Beerntung keinerlei makroskopisch erkennbare pilzliche Erreger festgestellt werden, welche evtl. zu einer Schwächung bzw. zu einem Absterben der „Restpflanze“ hätten führen können.

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt, zeigt sich auch in dieser Versuchsreihe, dass die Pflanzen auf die von außen zugeführten Reize vornehmlich mit einer Veränderung der Trockenmasse der Zwiebeln reagieren. Auch bei den unterschiedlichen Beerntungsgraden blieb der relative Fructangehalt in den Zwiebeln auf annähernd gleichem Niveau bei ca. 750 mg/g in der Trockenmasse entsprechend 75 % (vgl. KLINKHAMMER, 2007; BAUMGARTNER et al., 2000; DARBYSHIRE und HENRY, 1978).

Durch die Bonituren des Wiederaustriebsverhaltens, erfasst durch die im Folgejahr nach der Beerntung gebildete neue Blattfläche der Pflanzen sowie die Zunahme der Anzahl der Pflanzen im Adultstadium, konnte nachgewiesen werden, dass eine Beerntung bis zu $\frac{3}{4}$ des Blattes (bzw. der Blätter bei mehrblättrigen Pflanzen) keinen signifikanten Einfluss auf die nächstjährige Entwicklung der Pflanze hat. Für den praktischen Anbau der Pflanzen in einem Kultursystem an einem Ackerstandort bringen diese Erkenntnisse eine erhebliche Arbeitsentlastung mit sich. Dadurch, dass die Schnitthöhe in dem bereits oben beschriebenen Bereich ohne negative Beeinflussung der Pflanzen variieren kann, scheint eine maschinelle Beerntung z.B. mit Hilfe eines Baby-Leaf-Ernters der Firma TRINKEL, welcher u.a. für die Ernte von Baby-Leaf-Salaten oder Spinat in kleineren Mengen eingesetzt wird, realisierbar.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ziel der Arbeit war es, ein Konzept zur nachhaltigen Inkulturnahme *Allium ursinum* an einem Kulturstandort zu entwickeln, welches sich an den physiologischen Eigenschaften und dem Entwicklungsverlauf der Pflanze ausrichtet bzw. diese nutzt. Für alle Versuche stand von einem kommerziellen Anbieter erworbenes, wild gesammeltes Pflanzgut zur Verfügung. Die daraus resultierende Heterogenität des Pflanzenbestandes bedingte es, dass zunächst nicht in allen Versuchen eindeutige Maßnahme-Wirkungsbeziehungen erarbeitet werden konnten. Dennoch war es möglich, vor allem im zweiten Standjahr der etablierten Beständen (sowohl im Freiland als auch in Containern im geschützten Anbau), aussagekräftige Daten und Ergebnisse zu generieren, die für das Gelingen einer Inkulturnahme von *Allium ursinum* sprechen.

Die im Vorfeld zu den unter Freiland- und Laborbedingungen durchgeführten **Untersuchungen an einem repräsentativen Bärlauchstandort** in der Eifel erbrachten wichtige Grundlagenerkenntnisse und wertvolle Anregungen für die darauf resultierenden Versuchsanstellungen. Es konnte belegt werden, dass an einem Naturstandort schon geringe Schwankungen in der Einstrahlungsintensität eine Veränderung in den Pflanzenerträgen und den damit verbundenen Bildungs- und Einlagerungsprozessen von Stickstoff und Kohlenhydraten in den Pflanzen der verschiedenen Entwicklungsstufen zur Folge hatte.

Grundvoraussetzung für eine nachhaltige und ökologisch sinnvolle Etablierung eines Bestandes ist die **Bereitstellung von Saat- und/oder Pflanzgut** in ausreichender Menge und Qualität. In diesen Versuchreihen konnte in Anlehnung an die Arbeit von ERNST (1979) gezeigt werden, dass eine Brechung der Dormanz der Samen und Zwiebeln durch eine gezielte Stratifikation unter erheblicher Zeitersparnis von bis zu 80 Tagen möglich ist. Es wurden Keimraten von über 80 % bei frischem, wild gesammeltem Saatgut erzielt. Zusätzlich getestete, gängige Methoden zur Erhöhung oder Beschleunigung der Keimung/Keimrate blieben bei den Samen von *Allium ursinum* jedoch ohne Erfolg.

Ebenfalls konnte die Dormanz der Zwiebeln durch eine gezielte Temperaturbehandlung gebrochen werden, so dass in der günstigsten Variante schon Mitte Dezember 85 % der Zwiebeln makroskopisch sichtbar ausgetrieben waren. Der gesetzte Kältereiz, bei Beginn der Behandlung vor der physiologischen

Sommerruhe der Zwiebeln, regte zudem die Bildung von Tochterzwiebeln an, so dass die Behandlung nicht nur die eigentliche Dormanz der Zwiebeln brach, sondern auch zu einer um bis zu 26 % gesteigerten vegetativen Vermehrungsrate führte. Zusätzlich konnte im Freilandbestand beobachtet werden, dass allein durch die Zuteilung eines definierten Standraumes pro Pflanze von 0,078 m² (60 cm Reihenabstand und 13 cm Abstand in der Reihe) die vegetative Vermehrung, vermutlich aufgrund der geringeren intraspezifischen Konkurrenz, angeregt werden konnte, so dass bereits im Jahr nach der Bestandesetablierung eine Zunahme der mehrblättrigen Pflanzen (= mehr als zwei Blätter) von < 5 % auf über 85 % zu beobachten war.

Eine schnelle und kostengünstige Bestandesetablierung ist somit realisierbar. Ob dabei auf eine Saat- oder Pflanzkultur zurückgegriffen wird, liegt an den Planungen des Anbauers. Samen sind kostengünstig und einfach zu erhalten und zu verwenden; jedoch dauert es mindestens zwei bis drei Jahre (an Wildstandorten bis zu 6 Jahren (ERNST, 1979)), bis der Bestand sicher etabliert ist und ein erstes Mal beerntet werden kann.

In den **Düngungs**versuchen konnte gezeigt werden, dass eine Erhöhung des N-Angebots generell zu einem gesteigerten Ertrag von bis zu 40 % (Blattfrischmasse) führt. In dem mit einem N-Dünger durchgeführten Exaktversuch konnte eine optimale Düngerangebotsmenge von 100 kg N/ha festgestellt werden. Dies entspricht bei einem N-Gehalt von 3 % im Blatt und 1 % in der Zwiebel bei einer theoretischen Bestandesdichte von 1.200.000 Pfl./ha im Topfversuch ungefähr den Pflanzenentzügen. Ebenso konnte für *Allium ursinum* belegt werden, dass ein erhöhtes N-Angebot zu einem verzögerten Reifeprozess in den Zwiebeln führte, was durch die, zum Beprobungszeitpunkt signifikant geringeren Fructaneinlagerungen in den Zwiebeln der gut mit N versorgten Pflanzen deutlich wurde. Trotz des ebenfalls durchgeführten Versuchs mit einem Mehrnährstoffdünger bleiben noch viele Fragen in diesem Gebiet offen und es besteht in Hinblick auch auf eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle und wirtschaftliche Produktion Forschungsbedarf, da neben den Exaktversuche keine Feldversuche zur Validierung der Ergebnisse durchgeführt werden konnten.

Die grundsätzliche Feststellung der Erhöhung der Erntemenge bei gesteigerter Düngungsintensität ist für Bärlauch damit erstmals in einem Exaktversuch belegt. Bei anderen *Allium spp.* beschrieben bereits GREENWOOD et al. (1980) die Tatsache

eines steigenden Ertrages bei erhöhter N-Zufuhr bis zu einem kulturspezifischen Maximum gefolgt von einer Stagnation oder rückläufigen Ertragswerten bei einer Düngung über den Bedarf hinaus.

Als einer der wichtigsten Standortfaktoren wurde anhand der Untersuchungen der Pflanzenentwicklung am Wildstandort in der Eifel die **Einstrahlungsintensität (PAR)** in den Bestand identifiziert. In der Literatur fanden sich zu diesem Thema zahlreiche Untersuchungen von verschiedenen Wissenschaftlern, die zu unterschiedlichen bzw. widersprüchlichen Ergebnissen gelangten, da als Untersuchungsgebiet immer Wildstandorte dienten. Eigene Beobachtungen an dem in dieser Arbeit untersuchten Wildstandort zeigten, dass eine Vielzahl an Faktoren auf die Pflanze einwirken, und dass es daher fast unmöglich ist, einem einzelnen Faktor eine Wirkung zuzuschreiben, ohne z.B. Wechselwirkungen mit einem anderen Faktor zu berücksichtigen.

Aus diesem Grund wurde am Standort Wesseling ein Freilandversuch angelegt, in dem die Versuchsparzellen mit Beschattungsnetzen bekannter Beschattungsleistung eingesetzt wurden. Durch den methodischen Aufbau des Versuchs war es möglich, lediglich die Einstrahlung als Faktor zu beeinflussen. Die Ergebnisse zeigten, dass eine maximale Zunahme der Blattfrischmasse um bis zu 72 % zum optimalen Erntetermin mit steigender Beschattungsintensität gegeben war. Die Trockenmassen der Überdauerungsorgane waren jedoch in den unbeschatteten Kontrollparzellen höher, was aber nicht zu erkennbaren Vorteilen im darauf folgenden Jahr, in Bezug auf die Austriebsgeschwindigkeit oder die Blattbildung, führte.

Eine Beschattung der Pflanzen bringt einen höheren Ernteertrag mit sich, welcher jedoch einem gesteigerten Arbeits- und Kostenaufwand gegenübersteht.

In einem parallel durchgeführten Versuch wurde der Effekt von Vliesen unterschiedlicher Dichte auf das Pflanzenwachstum getestet. Neben dem positiven Nebeneffekt des Schutzes der anfälligen Jungpflanzen vor Spätfrösten konnte durch die Vliese und deren zusätzlichen, signifikanten Beschattungseffekt von bis zu 42 % ebenfalls eine Ertragssteigerung von bis zu 53 % erzielt werden. Beide getesteten Vlies-Varianten führten gerade im frühen Entwicklungsstadium der Pflanzen zu einer signifikant erhöhten Grünfärbung der Blätter.

Im Themenfeld „Beschattung“ könnten weitergehende Versuche Aufschluss darüber geben, ob eine Beschattung und die damit verbundene Ertragssteigerung auch auf andere Weisen realisierbar sind. Denkbar wäre hier z.B. der streifenweise Anbau

extensiv genutzter Großgräser wie z.B. *Miscanthus*, welche ein schnelles Wachstum und eine geringe Krankheitsanfälligkeit mitbringen. So wäre der Bärlauch früh in der Vegetationsphase bereits vor direkter Sonneneinstrahlung weitestgehend geschützt und die Begleitkultur müsste pflanzenbaulich bis zu deren Ernte nicht weiter behandelt werden.

Die Suche nach der optimalen, nachhaltigen **Beerntungs**art der Pflanzen, um einen Kompromiss aus höchstmöglicher Erntemenge und gleichzeitig kleinstmöglicher Pflanzenschädigung bei mehrjährigen Pflanzen zu erreichen, wurde in zwei aufeinander aufbauenden Versuchen geklärt.

Der optimale Erntezeitpunkt ergibt sich aus dem Gehalt an wertgebenden Inhaltstoffen in der Pflanze, der laut SCHMITT et al. (2005) kurz vor dem Zeitpunkt der Blüte der Pflanzen liegt. Zu diesem Zeitpunkt ist auch der Maximalertrag der Pflanzen erreicht, so dass auch aus ökonomischer Sicht dieser Erntetermin zu wählen ist.

Schneidet man alle Blätter einer Pflanze vollständig ab, reagiert die Pflanze mit einer signifikanten Abnahme der Zwiebeltrockenmasse sowie mit einer signifikant niedrigeren Einlagerung des Speicherkohlenhydrates Fructan. Dies stellt eine nicht zu unterschätzende Schwächung der Pflanzen dar und es muss davon ausgegangen werden, dass eine mehrjährige Beerntung in dieser Form zum Absterben der Pflanze führt (TUTIN, 1996). Aufgrund der hohen Etablierungskosten für den Kulturbestand ist es daher sinnvoll, eine Balance zwischen hohem Ernteertrag und Schonung der Pflanze zu erzielen was die Entwicklung eines neuartigen Erntekonzepts zur Folge hatte.

Das Abschneiden aller Blätter einer Pflanze auf einer definierten Schnitthöhe führt dazu, dass der Pflanze eine Restassimilationsfläche bleibt, und sie somit nach der Beerntung noch in der Lage ist, Speicherstoffe zu bilden und in der Zwiebel einzulagern. Der Pflanze wird nicht die Lebensgrundlage in Form der Assimilationsfläche der Blätter genommen, sondern sie wird nur in dem Maße verringert, dass es keine negativen Auswirkungen auf die verbleibende Restpflanze hat.

Die hier unternommenen Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Beerntung von bis zu $\frac{3}{4}$ der Blattmasse jedes Blattes der Pflanze (entsprach 1,05 g/Blatt) keinerlei negativen Einfluss auf die Pflanze hat. Eine stärkere Beerntung der Blätter führte zu signifikanten Rückgängen der Zwiebel-TM und den darin eingelagerten

Kohlenhydraten um ca. 30 %. Somit stellt eine Beerntung von $\frac{3}{4}$ der Blattmasse je Blatt die optimale Balance zwischen höchstmöglichem Ertrag und nachhaltiger, schonender Beerntung dar. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass ein um 14 Tage verspäteter Erntetermin keinerlei Einfluss auf die gebildete Zwiebeltrockenmasse oder die darin eingelagerten Kohlenhydrate hatte. Auch an diese Versuche lassen sich weitergehende Untersuchungen anschließen, die sich vornehmlich mit einer Mechanisierung der Ernte beschäftigen könnten. Vorhandene Technik z. B. selbstfahrende Baby-Leaf-Ernter könnten hier zum Einsatz kommen. Dazu müssten weitere Versuche auch hinsichtlich der Pflanzabstände in und zwischen den Reihen unternommen werden.

Zusammengefasst haben die in der vorliegenden Arbeit angestellten Untersuchungen erstmalig gezeigt, dass angefangen von der Bereitstellung von Saat- und Pflanzgut über begleitende Kulturmaßnahmen bis hin zur Ernte der Blätter eine Inkulturnahme von *Allium ursinum* möglich ist. Weitere, im Vorfeld schon kurz erwähnte mögliche Ansatzpunkte zu einer Verfeinerung der hier getätigten Aussagen sind wünschenswert und tragen zu einem verbesserten Verständnis um die Pflanze bei.

Gerade die Verknüpfung verschiedener Themenfelder wie z.B. „Vermehrung“ und „nachhaltige Beerntung“ zeigen Lösungswege zu einer ganzheitlich, nachhaltigen Kulturführung auf.

Eine Inkulturnahme ist letztlich nicht nur ein probates Mittel, um Qualität und Quantität des Erntegutes positiv zu beeinflussen, sondern zusätzlich werden die Wildstandorte geschützt, an denen Bärlauch auch heute noch im industriellen Maßstab gesammelt wird. Hier zeigt sich ein gutes Beispiel, wie industrielle Interessen nach einem natürlichen Produkt und ein durch nachhaltige Bewirtschaftung praktizierter Umweltschutz keine Gegensätze sind, sondern vielmehr einander bedingen.

Literaturverzeichnis:

- AMBERGER, A. (1996): Pflanzenernährung: ökologische und physiologische Grundlagen; Dynamik und Stoffwechsel der Nährelemente. 4. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- BASKIN, C. C. and BASKIN, J. M. (1998): Seeds – Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press.
- BAUMGARTNER, S.; DAX, T. G.; PRAZNIK, W. and FASLK, H. (2000): Characterisation of the high-molecular weight fructan isolated from garlic (*Allium sativum* L.). Carbohydrate Research 328: p. 177 – 183.
- BAYER CROP SCIENCE: <http://xmedia.bayercropscience.de/pdf/2010040914562953628592.PDF> (April 2010).
- BERTONI, G.; MORARD, P.; SOUBIEILLE, C. and Lorens J. M. (1992): Growth and nitrogen nutrition of garlic (*Allium sativum* L.) during bulb development. Scientia Horticulturae 50: p. 187 – 195.
- BIANCHI, F. and VAINIO, H. (2001): Allium Vegetables and Organosulfur Compounds: Do They Help Prevent Cancer? Environmental Health Perspectives 109: p. 893 – 902.
- BIERZYCHUDEK, P. (1982): Life histories and demography of shade-tolerant temperate forest herbs: a review. New Phytologist, 90: p. 757 – 776.
- BLOCK, E.; NAGANTHAN, S.; PUTMAN, D. and ZHAO, S.-H. (1992): Allium Chemistry: HPLC Analysis of Thiosulfinates from Onion, Garlic, Wild Garlic (Ramsons), Leek, Scallion, Shallot, Elephant (Great-Headed) Garlic, Chive and Chinese Chive. Uniquely high Allyl to Methyl Ratios in Some Garlic Samples. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 40: p. 2418 - 2430.
- BÖHLING, N. (2003): Dauerflächen-Untersuchungen in einem Eichen-Hainbuchenwald im Vorland der Schwäbischen Alb (Südwestdeutschland), 1978-2001: Der Niedergang von *Scilla bifolia* und die Invasion von *Allium ursinum*. Tuexenia 23: p. 131 – 161.
- BÖHM, H. (1964): Eine Klimakarte der Rheinlande. Erdkunde.
- BOMME, U. (2007): Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Schattierungs- und Mulchmaterialien auf Wachstum und Ertrag von Bärlauch; <http://www.lfl.bayern.de/ipz/heilpflanzen/28380/> (11.03.2008).
- BOMME, U. und NAST, D. (1998): Nährstoffentzug und ordnungsgemäße Düngung im Feldanbau von Heil- und Gewürzpflanzen. Z. Arzn. Gew. Pfl. 3: p. 82 - 90.
- BRADBEER, J. W. (1994): Seed Dormancy and Germination. Blackie Academic Professional.
- BRESINSKY, A.; KÖRNER, C.; KADEREIT, J. W. NEUHAUS, G. und SONNEWALD, U. (2008): Strasburger Lehrbuch der Botanik, 36. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg.
- BROCKLEBANK, K. J and HENDRY G. A. F. (1989): Characteristics of plant species which store different types of reserve carbohydrates. New Phytologist 112 (2): p. 255 – 260.

- BROD, H.-G. (Hrsg., 2002): VDLUFA Methodenbuch Band I, 3. Teillieferung Band 1, 2002. VDLUFA-Verlag, Speyer.
- BROUWER, R. (1962): Distribution of dry matter in the plant. Netherlands Journal of agricultural Sciences 10.
- BRUNNER, A. (1994): Ökologische Lichtmessung im Wald. Forstarchiv. 65: p. 133 – 138.
- BUNDESAMT FÜR RISIKOBEWERTUNG: <http://www.bfr.bund.de/cd/6225> (April 2010).
- BUNDESARBEITSKREIS DÜNGUNG (HSG.) (2006): Stickstoff. Grundlagen des Stickstoffeinsatzes in der Landwirtschaft. Bundesarbeitskreis Düngung, Frankfurt/Main.
- BUNDESGESETZBLATT DÜNGUNG 2006: <http://www.bgblportal.de/BGBL/bgbl1f/bgbl106s0033.pdf> (April 2010).
- BUWALDA, J. G. (1986): Nitrogen Nutrition Of Garlic (*Allium sativum* L.) Under Irrigation. Crop Growth And Development. Scientia Horticulturae 29: p. 55 – 68.
- BUWALDA, J. G. and FREEMAN R. E. (1987): Effects Of Nitrogen Fertilizers On Growth And Yield Of Potato (*Solanum tuberosum* L. "Ilam Hardy"), Onion (*Allium cepa* L. "Pukekohe Longkeeper"), Garlic (*Allium sativum* L. "Y Strai") and Hybrid Squash (*Curcubita maxima* L. "Delica"). Scientia Horticulturae 32: p. 161 – 173.
- CARLEN, C. UND CARRON, C.-A. (2007): Grundlagen für die Düngung der Gewürz- und Medizinalpflanzen Edition 2006. AgrarForschung 14 (1): p. 1 – 8.
- CARTELAT, A.; CEROVIC, Z. G.; GOULAS, Y. ; MEYER, S. ; LELARGE, C. ; PRIOUL, J.-L. ; BARBOTTIN, A.; JEUFFROY, M.-H. ; GATE, P. AGATI, G. and MOYA, I. (2005): Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). Field Crops Research 91: p. 35 – 49.
- CLARKSON, D.T. and HANSON, J.B. (1980): The mineral nutrition of higher plants. Annu. Rev. Plant Physiology, 31: p. 239 – 298.
- DACHLER, M. und PELZMANN, H. (1999): Arznei- und Gewürzpflanzen: Anbau, Ernte, Aufbereitung. 2. überarbeitete Auflage. Österreichischer Agrarverlag, Klosterneuburg.
- DAHLGREEN, R.; CLIFFORD, H. T. and YEO, P. F. (1982): The monocotyledons: a comparative study. Academic Press, London.
- DAHLGREEN, R.; CLIFFORD, H. T. and YEO, P. F. (1985): The families of the monocotyledons. Springer, Berlin.
- DARBYSHIRE, B. and HENRY, J. (1978): The Distribution Of Fructans In Onions. New Phytologist 81: p. 29 – 34.
- DARBYSHIRE, B. H. and ROBERT, J. (1997): The Association of Fructans with High Percentage Dry Weight in Onion Cultivars Suitable for Dehydrating. J. Sci. Food Agric. 3: p. 1035 – 1038.

- DEMMING-ADAMS, B. and ADAMS III, W. W. (1996): Starklichtstreß: Photoprotektion durch Umwandlung der Xanthophylle. Aus LARCHER, W. (2001): Ökophysiologie der Pflanzen, 6. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- DEY, P. M. and DIXON, R. A. (1985): Biochemistry of Storage Carbohydrates in Green Plants. Academic Press.
- DIEPENBROCK, W.; FISCHBECK, G.; HEYLAND, K. U. und KNAUER, N. (1999): Spezieller Pflanzenbau. 3. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- DIESSENBACHER, P. (2007): Entwicklung eines erfolgreichen Verfahrens zur Brechung der Samendormanz und zur Jungpflanzenaufzucht von *Allium ursinum* L. Diplomarbeit Universität Bonn.
- DIERSCHKE, H. (1989): Artenreiche Buchenwaldgesellschaften Nordwest-Deutschlands. Berichte der Reinh. Tüxen-Ges. 1: p. 83 – 89.
- DJURDJEVIC, L.; DINIC, A.; PAVLOVIC, P.; MITROVIC, M.; KARADZIC, B. and TESEVIC, V. (2004): Allelopathic potential of *Allium ursinum* L. Biochemical Systematics and Ecology 32: p. 533 – 544.
- DOW AGRO SCIENCE:
http://www.dowagro.com/PublishedLiterature/dh_0355/0901b803803551ef.pdf?filepath=de/pdfs/noreg/011-02100.pdf&fromPage=GetDoc (April 2010).
- DUFFUS, C. M. and DUFFUS, J. M. (1984): Carbohydrate Metabolism in Plants. Longmann Group Limited.
- EGGERT, A. (1992): Dry matter economy and reproduction of a temperate forest spring geophyte, *Allium ursinum*. Ecography: p. 45 – 55.
- EGGERT, A. (1985): Zur Ökologie der Krautschichtvegetation in einem Bärlauch-Kalkbuchenwald. Dissertation Universität Göttingen.
- ELLENBERG, H. (1977): Stickstoff als Standortfaktor, insbesondere für mitteleuropäische Pflanzengesellschaften. Oecol. Plant. 12: p. 1 – 12.
- ELLENBERG, H. (1986): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 4. Auflage. Stuttgart.
- ERNST, W. H. O (1979): Population biology of *Allium ursinum* in Northern Germany. Journal of Ecology. 67: p. 342 – 362.
- FELINKS, B. (1991): Die bärlauchreichen Buchenwälder der nördlichen Alpen – floristische, pflanzensoziologische und pflanzengeographische Untersuchungen. Diplomarbeit Universität Bonn.
- FINCK, A. (1982) : Pflanzenernährung in Stichworten. 5. Auflage. Hirt, Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin.
- FINCK, A. (1992): Dünger und Düngung Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen. Zweite neu bearbeitete Auflage. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.

- FRANKS, F. (1998): Freeze-drying of bioproducts: putting principles into practice. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 45: p. 221 – 229.
- FROHNE, D. (2002): *Allii ursini herba*. In: Wichtl, M. (HSG.): *Teedrogen und Phytopharmaka*. Stuttgart, WVG.
- FÜLLEKRUG, E. (1990): Der Anteil der vegetativen Vermehrung von *Allium ursinum* in der Bärlauch-Fazies. *Tuexenia* 10: p. 401 – 407.
- GRIME, J. P.; HODGSON, J. G. and HUNT, R. (1988): Comparative plant ecology: a functional approach to common British species: p. 71 – 76.
- GHOSE, S. L. (1923): An example of leaf-enation in *Allium ursinum* L. *The new phytologist: International Journal of Plant Science*. 22 (2): p. 49 – 58.
- HAHN, G. M. (1992): *Arznei- und Kulturpflanzen in Vergangenheit und Gegenwart*. Madaus, Wien.
- HAWKINS, T. S.; GARDINER, E. S. and COMER, G. S. (2009): Modelling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings endangered Plant species research. *Journal of Nature Conservation* 17 (2): p. 123 – 127.
- HÄNSEL, R. und HÖLZL, J. C. (1996): *Lehrbuch der pharmazeutischen Biologie*. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York.
- HEGI, G. (1939): *Illustrierte Flora von Mittel-Europa*. Carl Hanser Verlag München.
- HEIDRICH, E. (2007): Brechung der Keimhemmung bei *Allium ursinum* (Bärlauch) und *Astragalus mongholicus* var. *Membranaceus* (Chinesischer Tragant). *Z. Arzn. Gew. Pfl.* 12(1): p. 63 – 64.
- HENDRY, G. (1987): The ecological significance of Fructan in a contemporary flora. *New Phytologist* 106: p. 201 – 216.
- HEYLAND, K. U. (1996): *Spezieller Pflanzenbau*. 7. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- HEOL, B. O. and SOLHAUK, K. A. (1998): Effect of Irradiance on Chlorophyll Estimation with the Minolta SPAD-502 Leaf Chlorophyll Meter. *Annals of Botany* 82: p. 389 – 392.
- HOCKING, P. J.; STEER, B. T. and Pearson C. J. (1984): Nitrogen nutrition of non-leguminous crops: A review. Part 1. *Field Crop Abstr.*, 37: p. 625 – 636.
- INRES (HSG.): *INRES HANDBUCH: ANLEITUNG ZUR KOHLENHYDRATBESTIMMUNG*, INRES Institut für Gartenbauwissenschaft, Universität Bonn.
- JAIME, L.; MARTIN-CABREJAS, M. A.; MOLLA, E.; LOPEZ-ANDREU, F. J. and ESTEBAN, R. M. (2001): Effect of Storage on Fructan and Fructooligosaccharide of Onion (*Allium cepa* L.). *J. Agric Food Chem.* 49: p. 982 – 988.

- JANDL, R.; KOPESZKI, H. and GLATZEL, G. (1997): Effect of a dense *Allium ursinum*, (L.) ground cover on nutrient dynamics and mesofauna of a *Fagus sylvatica* woodland. Plant and Soil 189: p. 245 – 255.
- KARPAVICIENE, B. (2003): Intensity of generative and vegetative reproduction of *Allium ursinum*. Botanica Lithuanica) (1): p. 3 – 12.
- KEIL, P. und LOOS, G. H. (2003): Expansive Ergasiophygoten an urbanen Standorten im Ruhrgebiet. Kurzfassung von Vorträgen auf dem 5. Braunschweiger Kolloquium „Phytodiversität von Städten“.
- KIRCHNER, O. V.; LOEW, E. und SCHRÖTER, C. (1934): Lebensgeschichte der Blütenpflanzen Mitteleuropas I (3). Stuttgart, Ulmer Verlag.
- KLINGENSTEIN, F.; HONNEF, S.; LEAMAN, D. J. and SCHIPPMANN, U.: Sustainable wild collection of medicinal and aromatic plants: practice standards and performance criteria. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn, Germany.
- KLINKHAMMER, M. (2007): Nährstoffflüsse in *Allium ursinum* in Abhängigkeit von der Pflanzenentwicklung und der standortspezifischen Globalstrahlung. Diplomarbeit Universität Bonn.
- KOJIC, M. (1966): Über die Wasserbilanz und Stoffproduktion bei Frühjahrsgeophyten. Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft 79: p. 188 – 197.
- KREß, O.; WEICHMANN, J. und FRITZ, D. (2007): Die Düngung im Freilandgemüsebau. Gemüsebau Niederbayern. Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau
- KRIEBITZSCH, W.-U. (1992): Der CO₂- und H₂O-Gasaustausch von Pflanzen in der Krautschicht eines Kalkbuchenwaldes in Abhängigkeit von Standortfaktoren. I. Lichtabhängige Photosynthese im Jahresgang. Flora 186: p. 67 – 85.
- KUCKENBERG, J. (2008): Early detection and discrimination of biotic and abiotic stresses in *Triticum aestivum* and *Malus domestica* by means of chlorophyll fluorescence. Dissertation Universität Bonn.
- KUNATH, C. (2006): http://www.unileipzig.de/~pflaphys/index.php?article_id=85&clang=0 (April 2010).
- LAD (HSG.) (1999): Informationen zur Düngung, Broschüre. Landesarbeitskreis Düngung Nordrhein-Westfalen.
- LAD (HSG.) (2002): Informationen zur Düngung. Ausgabe Nordrhein Westfalen. 4. überarbeitete Auflage.
- LADHA, J. K.; TIROL-PADRE, A.; PUNZALAN, G. C.; CASTILLO, E. ; SINGH, U. and REDDY, K. (1998): Nondestructive Estimation of Shoot Nitrogen in Different Rice Genotypes. Agronomy Journal 90.
- LAIDLAW, R. A. and REID, S. G. in: Biochemistry of Storage Carbohydrates in Green Plants (DEY, P. M. and DIXON, R. A. (HSG.)). Academic Press, New York.
- LARCHER, W. (2001): Ökophysiologie der Pflanzen 6. Auflage. Ulmer Verlag, Stuttgart.

- LEUBNER-METZGER, G. (2007): Samendormanz und Keimungskontrolle: Gene, Umweltfaktoren, Klimawandel. Klimawandel als Herausforderung – Entwicklung und Nutzung stresstoleranter Sorten für Nahrung und Energie. Gesellschaft für Pflanzenzüchtung, Göttingen. Vorträge zur Pflanzenzüchtung 72: p.87 – 104.
- LIETH, A. and ASHTON, D. H. (1961): The light compensation point of some herbaceous plants inside and outside deciduous woods in germany. Canadian Journal of Botany 39: p.1255 – 1259.
- LÜTKE ENTRUP, N. und OEHMICHEN, J. (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 1: Grundlagen. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- MÄCKEL, H. G. (1940): Zur Mikroskopie heimischer Gewürzpflanze. II. Der Bärlauch, *Allium ursinum* L. Mitteilungen aus dem hamburgischen Institut für angewandte Botanik: p. 342 – 355.
- MARSCHNER, H. (2006): Mineral Nutrition of higher Plants, second edition. Academic Press, Amsterdam.
- MEUSEL, H.; JÄGER, E. und WEINERT, E. (1965): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Jena, Fischer Verlag.
- MICHLER, B. (2003): Qualitätsmanagement ausgewählter Arzneipflanzen und Waldprodukte in Apuseni, RO. Ifanos Landschaftsökologie Außenstelle Röttenbach.
- MITCHEL, H. L. and ROSENDAHL, R. O. (1939): Black Rock Forrest Papers 1. Black Rock Forest N. Y.
- MITCHERLISCH, E. A. (1909): Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. Landwirtschaftliche Jahrbücher 38: p. 537 – 552.
- MOORBY, J. and MILTHORPE, F. L. (1975): Potato. In: Evans, L. T. (Editor), Crop Physiology. Cambridge University Press, Cambridge: p. 225 – 257.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1951): Die Böden der Nordeifel. Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 54: p. 97 – 117.
- NACHTIGALL, W. (1985): Unbekannte Umwelt München, Heyne Verlag.
- NIKOLAEVA, M. G. (1977): Factors controlling the seed dormancy pattern. The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination. A. A. Khan. North-Holland, Amsterdam/New York: p. 51-64.
- PAK, C; van der PLAS, L. H. W. and de Boer, D. (1995): Importance of dormancy and sink strength in sprouting of onions (*Allium cepa*) during storage. Physiologia Plantarum 94: p. 277 – 283.
- PÜTZ, N. (2005): Konstruktionen und Strategien geophiler Überdauerungssysteme (Geophyten). http://www.uni-Vechta.de/ifd/biologie/upload/Puetz/Publicationen/hp_p4-FP-geo.pdf (Dez. 2009).
- RAGUSE, C. A. and SMITH, D. (1965): Forage Analysis, Carbohydrate Content in Alfalfa Herbage Influenced by Method of Drying. J. Agric. Food Chem. 13 (4): p. 306 – 309.

- RAHIM, M. A. and FORDHAM, R. (1991): Effect of Shade on Cell and Leaf Size and Number of Epidermal Cells in Garlic (*Allium sativum*). *Annals of Botany* 67: p. 167 – 171.
- RATTI, C. (2001): Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering* 49: p. 311 – 319.
- RICHTER, T. (2004): Bärlauch Portrait einer Arzneipflanze. *Zeitschrift für Phytotherapie*, 25: p. 206 – 210.
- RIETZ, B.; ISENSEE, H.; STROBACH, H.; MAKDESSI, S. and JACOB, R. (1993): Cardioprotective actions of wild garlic (*Allium ursinum*) in ischemia and reperfusion. *Molecular and Cellular Biochemistry* 119: p. 143 – 150.
- RIMBACH, A. (1897): Lebensverhältnisse des *Allium ursinum*. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* A4 15: p. 248 – 252.
- RITSEMA, T. and SMEEKENS, S. (2003, a): Engineering fructan metabolism in plants. *Journal of Plant Physiology* 160: p. 811 – 820.
- RITSEMA, T. and SMEEKENS, S. (2003, b): Fructans: beneficial for plants and humans. *Current Opinion in Plant Biology* 6: p. 223 – 230.
- SCHACHTSCHABEL, P. (1992): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 13. Auflage. Stuttgart.
- SCHLAGHECKEN, J. (2006): *Rund um den Bärlauch*. DLR Rheinpfalz.
- SCHMITT, B.; SCHULZ, H.; STORSBERG, J. and KEUSGEN, M. (2005): Chemical characterisation of *Allium ursinum* L. depending on harvesting time. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 53: p. 7288 – 7294.
- SCHMITT, W. (1997): Zur Vegetationsdynamik von Lochhieben in einem Kalkbuchenwald. *Forstw. Cbl.* 116: p. 207 – 217.
- SCHMUCKER, Th. und DRUDE, G. (1934): Über Verbreitungsgesetze bei Pflanzen, insbesondere *Allium ursinum*. *Beih. Bot. Cbl. A* 52: p. 520 – 565.
- SENDL, A. (1994): Bärlauch: Alternative zu Knoblauch (chemische und pharmakologische Untersuchungen von *Allium ursinum*). *Naturwissenschaftliche Rundschau* 47 (7): p. 257 – 260.
- SENDL, A. (1995): *Allium sativum* und *Allium ursinum*: Part 1. Chemistry, analysis, history, botany. *Phytomedicine*, 4: p. 323 – 339.
- SPECHT, C. E. and Keller, E. R. J. (1997): Temperature requirements for seed germination in species of the genus *Allium* L. *Genetic Resources and Crop Evolution*: p. 509 – 517.
- STRIEPEN, K. (1991): Bärlauchreiche Buchenwälder in der nördlichen Eifel: Standortliche Untersuchungen. Diplomarbeit Universität Bonn.
- TANWAR, B. and SOOD, D. R. (1996): Fructan metabolism in developing bulbs of red and white onions (*Allium cepa*). *Indian Journal of Agriculture Sciences* 66 (4): p. 224 – 226.

- TREMP, M. (1996): Beiträge zur Biologie von *Allium ursinum* (Bärlauch) und *Allium victorialis* (Allermannsharnisch). Dissertation Universität Zürich.
- TSINONTIDES, S. C.; RAYNIAK, P.; PHAM, D. ; HUNKE, W. A. ; PLACEK, J. and REYNOLDS, S. D. (2004) : Freeze drying – principles and practice for successful scale-up to manufacturing. International Journal of Pharmaceutics. Elsevier B.V. p: 1 – 16.
- TUTIN, T. G. (1957): Biological flora of the british isles, *Allium ursinum* L. The Journal of Ecology: p. 1003 – 1010.
- VINCE-PRUE D. and TUCKER, D. J. (1983): Photomorphogenesis in leaves in: DALE, J. E.; MILTHORPE F. C: The growth and functioning of leaves. Blackwell, Cambridge.
- VOGEL, G. (1996): Handbuch des speziellen Gemüsebaues. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- WEISS, F. E. (1908): The Dispersal Of Fruits And Seeds By Ants. New. Phytologist. VII. New Phytologist Trust.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (2003): WHO guidelines on good agricultural practice and collection (GACP) on medicinal plants. WHO, Geneva.
- WONNEBERGER, C. und KELLER, F. (2004): Gemüsebau. Eugen Ulmer Verlag.
- YOON, P.-S. and LEE, J.-S. (1998): the effect of temperature of the forcing and dormancy breaking of *Convallaria Keiskei* Miq. J. Kor. Hort. Sci. 39 (1): p. 74 – 78.
- www.konicminolta.com.instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf (Okt. 2009).
- www.oekolplant-ev.de/Baerlauch.pdf (2007)
- www.spectrometers.com/pdf/2900.pdf (Okt. 2009).

DANKSAGUNG

Besonders danken möchte ich Prof. Dr. Ralf Pude für die Überlassung des Themas und die inhaltlich, fachliche und stets freundschaftliche Betreuung.

Ebenso gilt mein besondere Dank Prof. Dr. Andreas Ulbrich, der mir vor allem während der praktischen Phase und während der Endphase der Arbeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

Ebenso möchte ich Prof. Dr. Georg Noga, welcher zuvor auch schon meine Diplomarbeit bewertet hat, herzlich für die Übernahme des Koreferates danken.

Ohne die teils unermüdliche Arbeit der Mitarbeiter der ehemaligen LFS Marhof wären viele Versuche im Gewächshaus und auf den Freiflächen nicht realisierbar gewesen, dafür mein herzliches Dankeschön an alle Mitarbeiter. Gleiches gilt für die Bearbeitung der Proben zur Kohlenhydratbestimmung in den INRES-Laboren des Institutes für Gartenbauwissenschaft. Hier gilt mein besonderer Dank, stellvertretend für alle anderen TA's, Frau Libeth Schwager, die nicht nur viele der über Tausend Proben selbst vorbereitet hat, sondern mich auch in die Geheimnisse der HPLC eingeweiht hat.

Bei meinen Kollegen, hier vor allem bei Karin Pietzsch möchte ich mich für die stets freundschaftliche Unterstützung und die vielen guten fachlichen Gespräche bedanken.

Danken möchte ich zudem meiner Familie die mich andauernd unterstützt und ermutigt hat.

Am Ende, aber als wichtigster Person, danke ich meiner lieben Frau Britta für ihre langjährige Unterstützung und Geduld. Ohne ihren Antrieb, ihr Engagement und ihr Verständnis würde ich heute nicht hier stehen.